雙　月　刊

核能簡訊

NUCLEAR NEWSLETTER

NO. 183
2020 April

一滴血液可精準驗出13種癌症

加拿大高放射性廢棄物處置場選址現況

311核災9週年　福島事故中的幾個「如果」

人造樹葉可改善空氣污染、製造燃料

英國確立深層地質處置場選址的關鍵要素



新冠肺炎全球大流行
為何蝙蝠的病毒如此致命

核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER
NO. 183
2020.04 雙月刊

編者的話

新型冠狀病毒 (COVID-19) 從 2019 年 12 月首次於中國湖北武漢市現身，截至 2020 年 3 月 19 日為止，已經傳播到 158 個國家及地區，全球已有近 21 萬起確診病例，超過 8,800 名患者死亡，推測還有更多輕症及無症狀患者未被確診。

新冠肺炎疫情持續在全球蔓延，但關於病毒的起源始終眾說紛紜。冠狀病毒是自然界中常見的一種病毒類型，可能導致嚴重程度不等的數種疾病，包含 2003 年爆發的嚴重急性呼吸綜合症（SARS）、2012 年的中東呼吸綜合症（MERS），都是其家族的知名成員，而最新出現的 COVID-19 也是其中之一。一般認為蝙蝠是最有可能的來源，因為病毒與蝙蝠冠狀病毒非常相似。柏克萊加州大學主導的一樣研究發現，蝙蝠對病毒具有強烈的免疫反應，可是當這些病毒轉至其他動物身上時，因這些動物缺乏快速反應的免疫系統，而導致高死亡率。本期「熱門話題」中，簡單介紹這隻嚴重影響全球人民生活的致命病毒。

令人聞之色變的高傳染力病毒，卻也帶來令人意想不到的結果。全球各國為防疫採取社會隔離措施，人類活動減少使經濟衰退，但卻讓地球得到意外喘息機會。美國航太總署 (NASA) 科學家說，在經濟活動受阻期間，許多國家觀察到污染和溫室氣體排放量有顯著下降的現象。NASA 科學家根據衛星數據顯示，中國的空氣污染程度急遽下降外，芬蘭的能源與清潔空氣研究中心分析師 Lauri Myllyvirta 也表示，從 2020 年 1 月下旬開始的 4 週內，與去年同期相比，防疫限制使中國的二氧化碳排放量減少 25%。疫情嚴峻僅次於中國的義大利，許多城市也見到久違的寧靜與潔淨，連水都威尼斯運河也變得較為清澈。

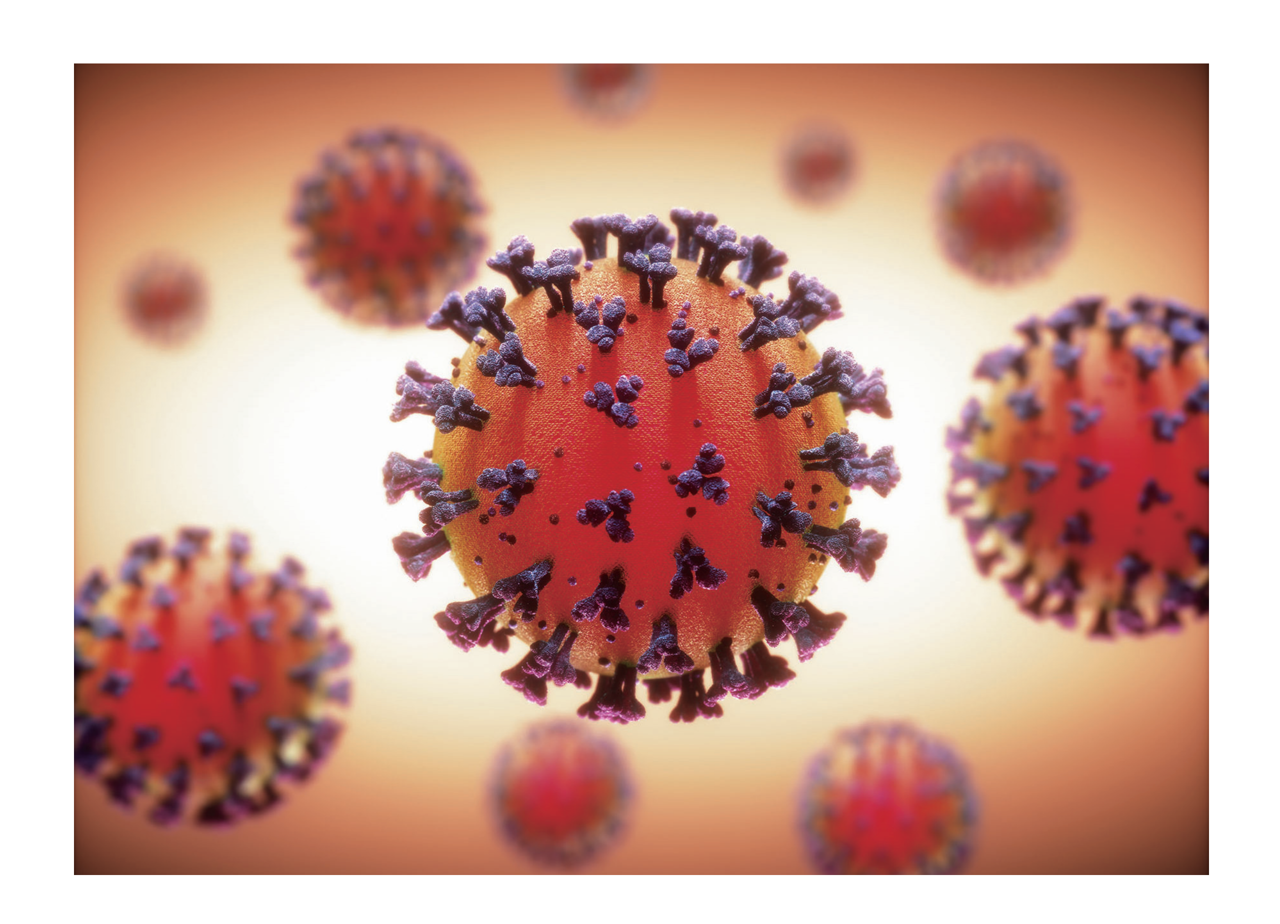
而為了改善地球空污問題，相關的研究仍不斷進行中：英國劍橋大學的研究發現，利用一種碳中和裝置製成人造樹葉，藉由陽光驅動，能持續的產生合成氣體，有助於改善空氣污染。進一步研究發現，還可以使用人造葉片來生產液體燃料以替代汽油。期待著這些新科技能早日成熟、商業化量產應用，發揮出最大功能與最佳效益，幫助我們居住的地球更健康。

本期「特別企劃」單元，探討了 9 年前福島事故中的幾個「如果」。雖然我們沒有時光機可以回到當時阻止事故發生，但我們可以透過前車之鑑的經驗中獲取教訓，並進而制訂相關的預防措施；藉由歷史事件的提醒，使我們能以更謹慎的態度應變，帶來安全富庶的生活。

目 錄

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一○一號
電　　話：(03)571-1808
傳　　真：(03)572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
電子郵件：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：郭瓊文
編輯委員：李四海、陳條宗、郭瓊文、謝牧謙（依筆畫順序）

主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、林庭安、翁明琪
執　　編：長榮國際　文化事業本部
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：臺北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
臺灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告



新冠肺炎全球大流行
為何蝙蝠的病毒如此致命？

譯 **羅彩月**

近年來全球爆發十分嚴重性的病毒性疾病，例如嚴重急性呼吸系統綜合症冠狀病毒（SARS）、中東呼吸症候群冠狀病毒（MERS）、伊波拉病毒（Ebola）、馬堡（Marburg）病毒，以及 2019 年的新型冠狀病毒（COVID-19），皆源起於蝙蝠，這種現象並不是一種巧合。

由美國柏克萊加州大學（University of California-Berkeley）主導的一項新研究發現，蝙蝠對病毒具有強烈的免疫反應，它可以促使病毒快速複製，所以當蝙蝠接觸到中等免疫力的哺乳動物 (例如人類)，即會造成嚴重危害。本項研究之文章已發表在《eLife 》2020 年 2 月份的期刊上。

有些蝙蝠 (包括那些引起人類感染的品系) 已經被證實具有對抗病毒的免疫系統，當這些蝙蝠受病毒感染後，牠的細胞會立即築起防禦圍牆使病毒不能入侵，保護蝙蝠不會受到大量病毒的侵害，這也會導致病毒快速地繁殖，造成蝙蝠成為一個快速繁殖及高傳染力的病毒特異性貯存區。蝙蝠可以忍受這些病毒，可是當這些病毒轉至其他動物身上時，因這些動物缺乏快速反應的免疫系統，這些病毒將會迅速擊垮新宿主，導致高死亡率。

美國柏克萊大學博士後研究員，也是本文第一作者布魯克 (Cara Brook) 表示：「某些蝙蝠可以去組織這些突發的抗病毒反應，也可以與抗發炎反應取得一個平衡。假如人類的免疫系統想產生相同的抗病毒策略，將引發廣泛性的發炎，蝙蝠似乎有這個能力去避開免疫病理的威脅。」

研究人員也注意到，打亂蝙蝠的棲息地，將會迫使這些動物在牠們的唾液、尿液及糞便裡釋出更多的病毒，再去感染其他動物。布魯克目前參與一項由美國國防高等研究計畫署（Defense Advanced Research Projects Agency）贊助的跨國性蝙蝠監測計畫《Bat One Health》，她指出：「當蝙蝠有高度的環境威脅時，也可能會對動物界造成危機。」

柏克萊大學整合生物學教授及疾病生態學家布茲（Mike Boots）與布魯克為本文共同作者，他表示：「蝙蝠可以成為病毒的宿主，顯見牠的特殊性。但蝙蝠跟人類的關係並不密切，因此不可能期待牠們做人類病毒的宿主。我們的研究證實了蝙蝠如何驅動其免疫系統，以避開病毒之危害並進而克服它。」

蝙蝠是唯一能飛行的哺乳類，當牠在飛行時其代謝速率會提升至相似體型鼠類在跑步時的 2 倍。



研究人員注意到許多蝙蝠病毒，都是透過其他動物當中間宿主再傳染至人類。

一般而言，劇烈的生理活動及高代謝率會使身體累積過量的反應性物質 (主要是自由基)，而導致組織受到較嚴重的傷害。蝙蝠因為可以飛行，牠似乎已經發展出一種生理機制，可以有效地清理這些破壞性分子。這些能力也可以幫助牠應付任何原因造成的發炎反應，這或許也可以解釋蝙蝠特別長壽的原因。相較於大型動物有較慢的心跳速度及代謝率，小型動物如果心跳速度及代謝率較快者通常壽命也會較短，可能是因為高代謝導致更多破壞性的自由基產生。有些蝙蝠可以活至 40 歲，但相同體型的嚙齒類動物只有 2 年的壽命。

蝙蝠具有快速緩和發炎反應的能力，也可用於平息抗病毒的發炎作用。許多蝙蝠的免疫反應有一項很關鍵的步驟即是觸發訊息傳遞分子 α 干擾素 (α-interferon) 的釋出，這個分子在病毒入侵前即通知其他細胞進入備戰狀態。

布魯克對此現象十分好奇，她設計實驗去培養兩種蝙蝠細胞株，並使用猴子的細胞株作為對照組。其中一種蝙蝠細胞株是來自埃及水果蝙蝠 (Egyptian fruit bat)，牠是馬堡病毒的天然宿主，需要接受病毒攻擊才能促使 α 干擾素基因大量產生干擾素。另一種則是澳洲黑飛狐屬蝙蝠細胞（Australian black flying fox cell），牠在體內已準備好對抗病毒感染的 α 干擾素的核醣核酸 (RNA)，受感染後可迅速轉譯出干擾素這種蛋白質。非洲綠猴細胞株 (African green monkey cell line) 卻一點都不會產生干擾素。

當使用伊波拉及馬堡病毒去挑戰這些細胞株時，反應各不相同，綠猴細胞很快即被病毒征服而死亡，聚成花環狀的蝙蝠細胞則有干擾素的通知而成功防護，不受病毒感染。對澳洲黑飛狐屬蝙蝠細胞株的免疫反應更好，減慢病毒感染速度。

布魯克表示：「當有一個較強的免疫反應，這些細胞株可以免於病毒感染。雖然病毒可以增強它的複製能力，但對宿主卻沒有造成傷害。但當它感染了免疫力較溫和的人類時，即會引起一大堆的免疫病理反應。」

研究人員也注意到許多蝙蝠病毒，都是透過其他動物當中間宿主再傳染至人類，例如嚴重急性呼吸系統綜合症冠狀病毒是透過果子狸，中東呼吸症候群冠狀病毒是經由駱駝，伊波拉病毒則經由黑猩猩等。這些病毒一旦感染了人類都具有破壞力與致命性。

布魯克與布茲針對蝙蝠的免疫反應，開始在電腦上建構比較完整的分析模型，以瞭解蝙蝠對病毒反應的演化，並能更明白傳播給其他動物及人類的過程。

(本文譯者為核能研究所技術推廣中心副主任)

參考資料：
Coronavirus outbreak raises question: Why are bat viruses so deadly? University of California – Berkeley, 2020/02/20 https://www.sciencedaily.com/releases/2020/02/200210144854.htm



一滴血液
可精準驗出 13 種癌症

譯 朱鐵吉

自 1981 年以來，日本人的死亡原因中癌症位居第一位，2018 年日本民眾因癌症死亡人數約 37 萬人（註 1），其中男性罹患癌症的機率約 60%，女性約 50%（註 2）。

由於治療癌症的方法每年都在進步，存活率也顯著的提升。例如肺癌，第 2 期 5 年存活率約 60%，0 期的病人存活率約 97%(註 3)，所以早期發現罹患癌症的話，可以提高存活率，因此為了因應社會大眾的殷切要求，而積極開發新的檢查方法。

探討早期發現的檢查方法

本文作者曾經在 2015 年 6 月號的《能源評論（Energy Review）》、新能源產業技術綜合開發機構（NEEO）以及日本國立癌症研究中心發表，介紹利用「外泌體（exosome）」檢查大腸癌。用微量的血液

或體液檢體，短時間內可以檢查出所含的外泌體，同時可以檢查出癌症與病毒，其檢體只需要傳統檢查方法的 1/40，半天內就可以檢查出是否罹患大腸癌。這種檢查只需要微量的檢體，減少病人的負擔，又可以在短時間內知道結果，而及早治療，可大幅降低病人的死亡率。

之後日本國內又陸續開發出多種的檢查方法，本文將介紹最近東芝公司發表的新方法。東芝公司和東京醫科大學以及日本國立癌症研究中心共同合作，研究開發出利用一滴血液的檢體，就可以發現 13 種癌症，且準確度相當高。

利用外泌體檢查法的特殊意義

外泌體是一種細胞分泌出介於 30-100 奈米（nm：十億分之一公尺）的物質，外泌體會形成一層薄膜包覆血液、唾液、乳汁或尿液。外泌體在人體活動中有重要的貢獻，在核醣核酸（RNA）分子及蛋白質內都含有信使核醣核酸 （message RNA, mRNA）與微核醣核酸（miRNA, microRNA），藉由外泌體的包覆可以在細胞間穿梭。

[譯註：根據維基百科，mRNA 是由去氧核醣核酸（DNA）經由轉錄而來，帶著相應的遺傳訊息，為下一步轉譯成蛋白質提供所需的訊息。miRNA 是真核生物中廣泛存在的一種 RNA 分子，可調節其他基因的表現，miRNA 與目標的 mRNA 結合，進而抑制轉錄後的基因表現，在調控基因表現、細胞周期、生物體發育時序等方面有重要作用。]

癌細胞分泌的外泌體在癌症的轉移時具有重要的作用，癌細胞分泌出的外泌體中含有 miRNA 的蛋白質，這些是癌症的特異分子，為罹癌病人的特徵。外泌體主宰細胞分化、老化，活用外泌體內含有的 miRNA 和蛋白質，可將相關多樣化的生命現象顯現出來。另外，外泌體在分泌的機制上具有生物的重要性。

東芝公司開發的新型檢查方法

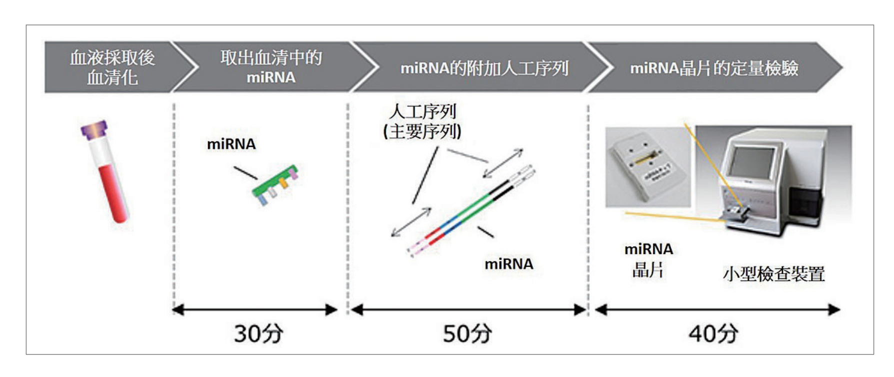
2019 年 11 月 25 日東芝公司發表：只要用一滴血液的檢體就可以檢查出 13 種癌症，這項研究得到日本國立研究開發法人與日本醫療研究開發機構 (AMED) 的贊助，為了試驗下一代的治療，獲得日本診斷創藥基盤技術開發事業單位的支援，東京醫科大學和日本國立癌症研究中心提供高度的醫療技術而開發成功（註 3），東芝公司開發出檢驗 miRNA 的技術，可以準確地檢查出 13 種癌症。

這項檢查方法是利用血液中流動的外泌體內含有癌症的 miRNA 特異分子，可以在 2 小時之內檢查出結果，其準確度高達 99%。東芝公司 2020 年對癌症患者開始進行實際的試驗，預計 2022 年可以商業化，以下是這種方法的簡單說明：

miRNA 電化學的檢測技術，早期發現早期治療的可能性

東芝公司獨立研發電化學技術，最新開發出 miRNA 晶片以及小型檢查裝置，檢查時間 2 小時以內就可以得到結果。

在取得病人的血液檢體後，利用上述方



已開發的 miRNA 檢查技術流程圖。
(資料來源 : 東芝公司網頁 www.toshiba.co.jp/rdc/detail/a911_06.html)

法針對乳癌、胰臟癌、卵巢癌、攝護腺癌、食道癌、大腸癌、胃癌、肝癌、膽道癌、膀胱癌、肺癌、腦腫瘤、惡性肉瘤等 13 種的癌症，進行檢查，判定結果精確度極高，因此為了盡早廣泛的應用，正積極進行相關的試驗。

miRNA 由 18-22 個核苷酸所組成，結合細胞內的 mRNA，約有 2,500 種的 miRNA，部分正常細胞與癌細胞皆擁有其標誌而被運用，以前每種癌症都要使用個別的檢查方法，會讓病人負擔很高費用。利用這種新方法可以早期發現癌症並早期治療，其存活率可以顯著提升，對病人和社會來說，是非常重要且有意義的事情，希望這種方法能早日得到實際應用。

註 1. 日本厚生勞動省 2018 年度人口動態統計月報每年統計概況 https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/geppo/nengail8/dl/gaikyou30.pdf

註 2. 日本國立癌症研究中心 癌症資訊服務 https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/stat/summary/html

註 3.《胸腔腫瘤期刊 (Journal of Thoracic Oncology)》Vol. 14, p.212-222，2019 年

註 4. 日本國立癌症中心 一次血液檢測 13 種癌症的新一代診斷系統的開發 http://www.ncc.go.jp/jp/information/pr_release/2014/0613/index.html

(本文譯者為清華大學榮譽退休教授)



參考資料 :
室伏きみ子 ·“未來を拓くサイエンス : 一滴の血液で 13 種類のがんを精度高く検出する技術の開発”Energy Review, Feb. 2020: Vol.40. No.2, p.28-29



加拿大高放射性廢棄物處置場選址現況

文 編輯室

加拿大自 1967 年首座大型核反應爐開始發電以來，至今已產生超過 280 萬束、約 11,000 立方公尺的用過核燃料。與多數使用核能發電的國家相同，加拿大在過去數十年間也致力於在國內開發、建立一座最終處置場，為這些屬於高放射性廢棄物的用過核燃料找尋永久的解決方案。而根據加拿大國會圖書館公開的《背景文獻—加拿大核能與放射性廢棄物管理（Background Papers – Nuclear Energy and Radioactive Waste Management in Canada）》，使用「深層地質處置場」來處置高放射性廢棄物的方式，在國際科學界與核能發電使用國家之間被認為是用來進行處置的首選方案。

所謂的「深層地質處置場」指的是透過岩石、岩鹽與泥土等的「天然障蔽」與核燃料丸、元件與容器等的「人工障蔽」，形成的「多重障蔽系統」，在穩定的地質

構造中建造這座深層地質處置場，以長期貯存用過核燃料，待其恢復到天然鈾的放射性水平，約需要 100 萬年的時間。迄今為止只有少數國家在這項建設計畫的開發中位處後期的階段，例如芬蘭、法國與瑞典，這些國家已確立了建設深層地質處置場的地點，其中芬蘭也是唯一一個開始處置場建設工程的國家，建設工程於 2015 年開始，將建於地下深 450 公尺處，預計可在今（2020）年開始營運。

其他正在考慮為各國用過核燃料建設一座類似深層地質處置設施的國家，大多數至今仍處於處置場計畫開發或選定潛在場址地點的階段，其中也包含了加拿大。

背景

目前加拿大的用過核燃料（或高放射性廢棄物）均儲存在數個用過核燃料中期貯存設施中，並由各核電廠營運公司進行管理。用過核燃料自反應爐中移出後，必須放置在用過核燃料池中冷卻 7-10 年，以減少其熱度與放射性，待完成冷卻後再轉移至電廠內由混凝土製成、位於地面的乾式貯存設施或筒倉中。

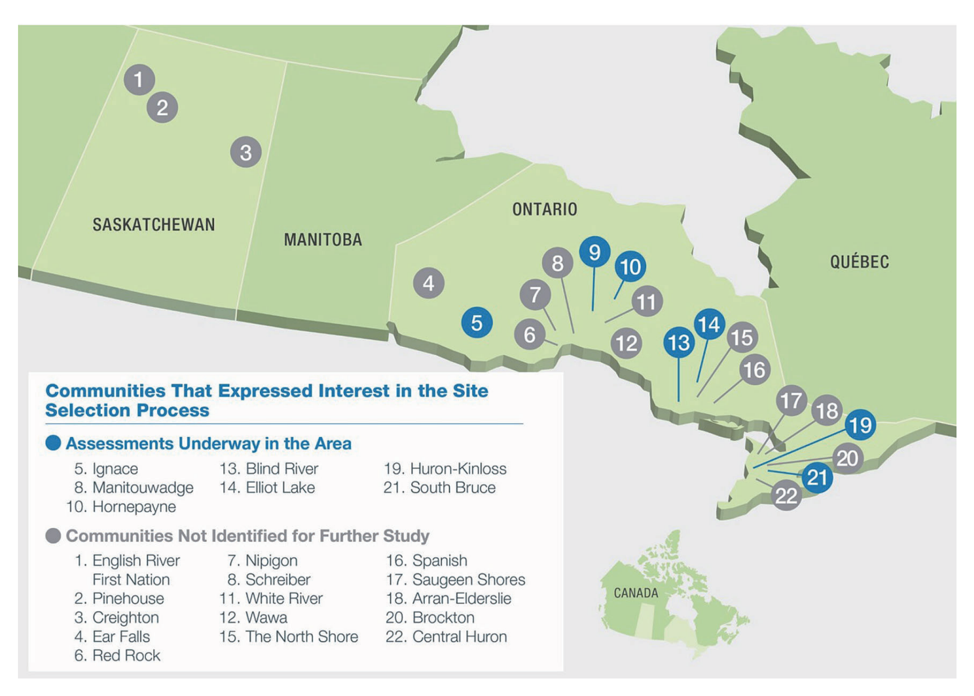
加拿大聯邦政府與安大略省政府在 1970 年代時指示加拿大國營企業─加拿大原子能有限公司（Atomic Energy of Canada Limited, AECL）開發用過核燃料深層地質處置的概念，1980 年代後期一個獨立的環境評估小組為此成立，來審查這項深層地質處置設施的概念，並為加拿大用過核燃料的管理提出建議。

在長達 10 年的研究結束時，該小組得出的結論認為用過核燃料的長期管理不僅取決於設施的安全性，也取決於社會的「可接受度」。「很明顯的，加拿大政府需要制訂程序，以確保用過核燃料長期管理的辦法得以開發與執行。」鑑於加拿大用過核燃料的數量並不多，「國家制定的解決方案必須符合加拿大人的最佳利益。」

適應性階段管理

在加拿大《核燃料廢棄物法（Nuclear Waste Fuel Waste Act）》的規範下，加拿大持有用過核燃料的 4 間公司：新布倫瑞克電力公司（Énergie NB Power）、魁北克電力公司（Hydro-Québec）、安大略省發電公司（Ontario Power Generation）與加拿大原子能有限公司，在 2002 年一同成立了加拿大核燃料廢棄物管理專責機構（Nuclear Waste Management Organization, NWMO）。NWMO 的治理由成員公司聯合進行，其中還有董事會負責監督 NWMO，並制定整個機構的策略發展，另外還有一個負責評估與提供建議的諮詢委員會。

負責研發並執行加拿大用過核燃料長期管理計畫的 NWMO，就 3 種方式進行了詳細的研究，並從中選出稱作「適應性階段管理（Adaptive Phased Management, APM）」的方式。在 NWMO 於 2002-2005 年經過 3 年的公眾諮詢（Public consultation）後，加拿大聯邦政府於 2007 年批准這項可以推動相關技術、研究、當地原生知識（Indigenous knowledge）與社會價值發展的用過核燃料



NWMO 在 2010 年開始徵求有意願接納最終處置設施的地區，最初有 22 個地區提出申請，2017 年通過初步審查、合適性評估(選址流程中步驟 3)後的地區縮減至 7 個，都位在安大略省。而隨著調查範圍擴大，至今(2020)年初僅剩下編號第 5(Ignace)與第 21(South Bruce)兩處潛在場址。(圖片來源：NWMO)

管理系統，承認這項系統的標準符合其他使用核電的國家所採用的最佳用過核燃料長期管理方式。

加拿大「適應性階段管理」的處置概念也是將用過核燃料放置在一座深層地質處置場內進行最終處置，與人類生活環境隔離。這項處置設施包含了一座地下隧道系統，與用來儲存用過核燃料的處置坑洞，以及用於維護與監管處置設施的空間。該座深層地質處置設施必須建立在一座地質穩定的沉積岩或結晶岩構造中，地點估計將建於地下深約 500 公尺處，覆蓋的面積長 2 公里、寬 3 公里。另外，該處置概念中的多重障蔽系統則包含了燃料丸外殼、燃料元件外殼、燃料束、用過核燃料處置容器、膨潤土，以及最外圍的地層（Geosphere）。

這項「適應性階段管理」的處置概念將通過 6 階段的過程在數十年內進行，分別為：

1. 選址與管制機構認可；
2. 場址準備與施工；
3. 營運操作；
4. 擴大監控；
5. 除役與關閉；
6. 關閉後的監管。

儘管在深層地質處置設施中進行最終處置的主要目的並不是要消除用過核燃料，但「適應性階段管理」處置概念其中一項特徵為「可回收性（Retrievability）」，是為了在這項建設計畫的所有階段內（包含出於安全原因），允許將儲存於此處的用過核燃料移出。

根據 NWMO 的數據，從 2010 開始選址過程到計畫建設完成（即設施的整個生命週期），整座處置設施的成本為 230 億美元（以 2015 年美元計算，約 6,900 億元新台幣），包含已經支付、占整個設施生命週期約 160 年的費用。

九階段選址流程

有關用過核燃料最終處置設施的選址，NWMO 已確立了數項原則，範圍涵蓋了安全性、達到或超出監管要求的重要性、決策過程的參與、尊重當地居民的權利、約定與土地的所有權，與樂意接受處置設施社區的承諾等。

加拿大現有用過核燃料存量一覽表（截至 2018 年 6 月） （圖表來源：NWMO）

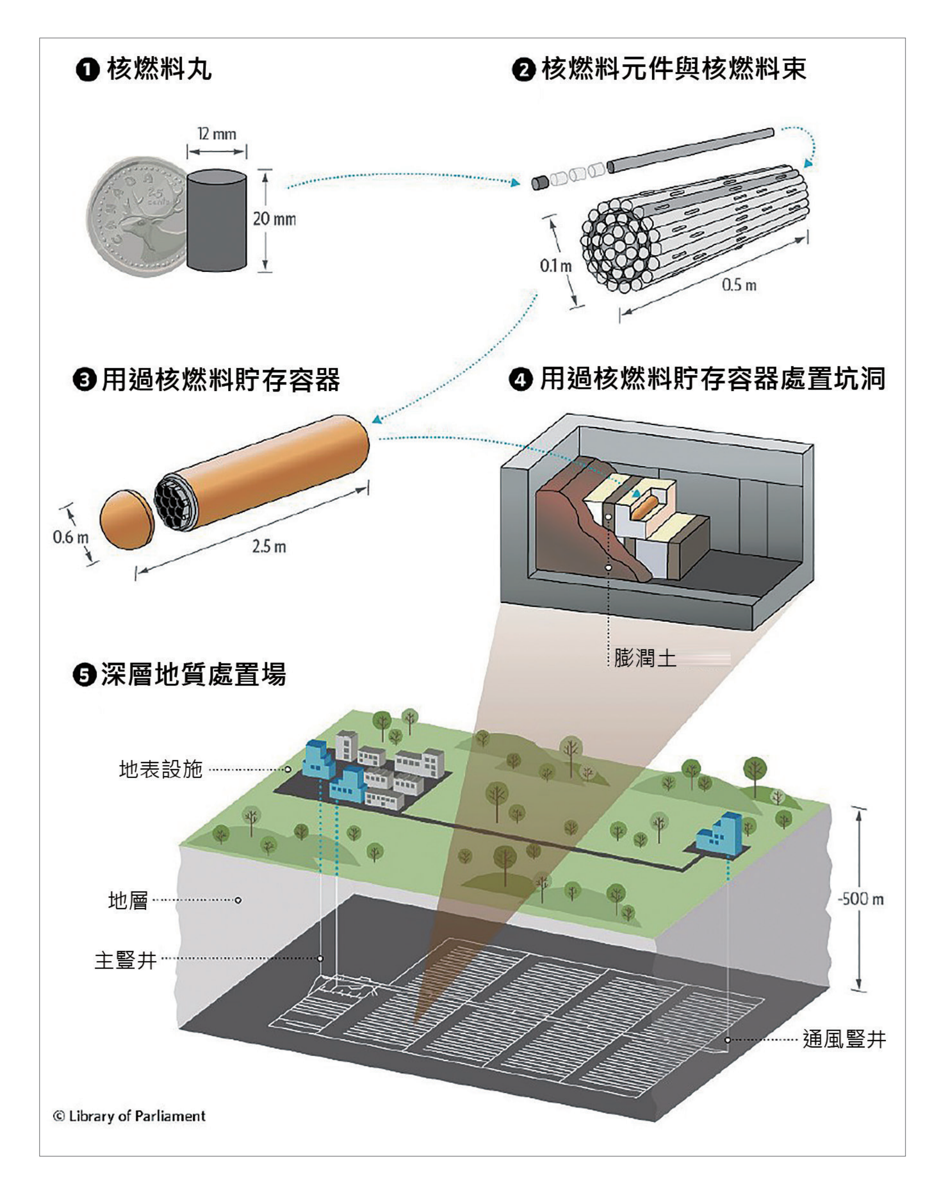
地點	廢棄物持有公司	濕式貯存（束）	乾式貯存（束）	總計（束）	現況
Bruce A	OPG	339,846	193,152	532,998	4 部機組運轉中
Bruce B	OPG	345,572	361,334	706,906	4 部機組運轉中
Darlington	OPG	326,015	223,799	549,814	3 部機組運轉中，1 部整修中
Douglas Point	AECL	0	22,256	22,256	1984 年永久關閉
Gentilly 1	AECL	0	3,213	3,213	1978 年永久關閉
Gentilly 2	HQ	12,685	117,240	129,925	2012 年永久關閉
Pickering A	OPG	401,064	353,037	754,101	2 部機組運轉中，2 部機組 1997 年停止營運（2005 年永久關閉）
Pickering B	OPG				4 部機組運轉中
Point Lepreau	NBPN	35,672	111,058	146,730	運轉中
Whiteshell	AECL	0	2,301	2,301	1985 年永久關閉
Chalk River	AECL	0	4,886	4,886	大多數用過核燃料來自加拿大首座核反應爐 NPD（1987 年永久關閉），少數來自加拿大其他反應爐與相關研究。
		(1)	(1)	(1)	目前評估中。
總計（束）		1,460,854	1,392,276	2,853,130	

註：

AECL: 加拿大原子能有限公司　NBPN: 新布倫瑞克電力公司

HQ: 魁北克電力公司　OPG: 安大略省發電公司

(1) AECL 還擁有約 22,000 件研究發展用的核燃料零件，例如在 Chalk River 國家核子實驗室儲存的燃料元件、燃料顆粒與燃料碎片等。儘管這些成分的數量與加拿大重水鈾反應爐（CANDU）核燃料的總量相比很小，但由於它們的成分、儲存方式、尺寸不同等因素，仍需要特別考慮將來管理的方式。在加拿大與研究用反應爐相關的非 CANDU 燃料也不多(幾千克)。



加拿大用過核燃料最終處置概念之多重障蔽系統(圖片來源:加拿大國會圖書館 Library of Parliament)

NWMO 公布的選址流程分成 9 個階段，內容包含了選址過程的啟動、社區初階段審查(Initial screening)、社區合適性初步評估(Preliminary assessment)、有意願接受處置設施設置的社區確認、管制機構審查與執照核發、處置設施(含示範設施)的建設工程與營運等。

NWMO 在 2010 年就已開始徵求有意願設置最終處置設施的地區，並於 2012 年 9 月暫停接受申請。最初有 22 個地區對此表示有興趣，想了解更多細節，NWMO 也對這 22 個地區進行了初步審查，並將審查報告全數公開在 NWMO 網站上。2016 年就各申請地區的潛在地質

合適性、工程、運輸、環境、安全，以及處置設施是否對該社區福祉貢獻存在潛力等社會、經濟與文化考量等項目進行初步評估後，仍維持在選址流程內的地區縮減至 9 個，都位在安大略省。隨著調查範圍擴大，截至 2020 年 2 月 4 日，僅剩 2 處潛在場址，分別為伊格納斯鎮（Township of Ignace）以及南布魯斯市（South Bruce），還可繼續進行選址的程序。

接下來，NWMO 將與這兩處的當地市政當局與原住民團體合作，逐步進行更詳細的技術評估與社會研究，進一步評估當地的安全性，以及探索如何透過增進各地區市政當局與原住民社會福祉的方式來執行這項處置設施計畫。NWMO 強調，「處置設施建設計畫僅會在該地區的民眾、當地原住民（此處指印地安人與梅蒂人）以及周邊地區的共同參與下才會進行」，NWMO 也對積極參與整個選址流程的眾多社區的領導者與人民表達感謝，「這項處置設施的選址得以依照計畫順利進行，都是因為他們前瞻性的領導以及對加拿大最終處置計畫的貢獻，代表我們所有人，也是為了我們的後代子孫，來接受、解決這項挑戰。」

此外，NWMO 同時也需要證明這座處置設施建設計畫符合加拿大核能管制機構（Canadian Nuclear Safety Commission, CNNC）制訂的安全規範，包括「從選址流程開始就用來評估潛在場址是否合適的準則」。

一旦 NWMO 完成上述這些必要條件，管制機構的審查流程即可持續進行。之後管制機構將負責裁定 NWMO 是否滿足所有管制要求，但管制機構僅能在結束環境評估後才可做出是否批准該處置設施建設的決定。

至於那些退出選址流程的城市與原住民社區，以及位在他們周圍的社區，將有資格獲得一次性的社區福利投資，以表彰他們在加拿大最終處置計畫中所發揮的貢獻，這些投資將存入各社區的福利儲備基金（或其他同等資金）。NWMO 表示，這是一種讓 NWMO 持續為社區福祉作出貢獻的方式，即使選址工作已不在這些地區繼續。

持續不斷的調查與溝通

除了在 2019 年底確認有 2 處潛在場址可進入選址下一階段的流程之外，根據世界核能新聞網（World Nuclear News）最新的報導，NWMO 在今（2020）年初與南布魯斯市的土地持有者簽署了協議，以允許 NWMO 能在該潛在地區就深層地質處置設施進行土地研究。

南布魯斯市是 NWMO 經過長時間的選址流程中僅存的兩個地區其中之一，現有的選址流程期望能在 2023 年前確認一座單一、且合適的用過核燃料處置設施設置地點，並獲得知情、有意願的社區居民接納。而 NWMO 自 2019 年 5 月以來一直與南布魯斯市當地的土地持有者合作，期望能在南布魯斯市西半部的提斯沃特（Teeswater）徵得合計近 1,300 英畝

（約 526 公頃）的土地。愛爾蘭（Darren Ireland），當地一位已與 NWMO 達成協議的農民、同時也是土地持有者對此表示：「我們了解最終處置計畫具有為我們社區帶來長期利益的潛力，我們也希望能一同為現在與未來的居民，建立一個永續、繁榮的社會。」

NWMO 近期將於南布魯斯市開始進行如鑽孔探測、基準線環境監測等研究，來評估該地區是否適合設立深層地質處置設施。NWMO 表示，「確定南布魯斯市為最終處置設施的潛在地點是加拿大最終處置計畫一個很重要的里程碑，這也賦予了 NWMO 信心，讓我們得以繼續在該地區進行更進一步的場址技術評估以及社會研究，這也是市政當局、當地土地持有者以及 NWMO 在過去數個月的努力所獲得的成果。」

而 NWMO 與南布魯斯當地的土地持有者達成協議的內容包含了一系列的期權與購買安排，除了允許 NWMO 可持續進行研究，同時也允許土地持有者透過如回租（Leaseback）等方式繼續租用土地。若該地點最後被選為最終處置設施場址，NWMO 就會買下這些土地，並在接下來的數個月至數年的時間內繼續與該地區的土地持有者，就進一步徵得該地區額外的土地來進行討論，期望能將預定的土地面積增加至 1,500 英畝的大小。

另外，同在安大略省的另一個潛在場址伊格納斯鎮的相關研究也持續在進行當中，目前在該地點已經完成兩處鑽探調查。

結語

加拿大自 2008 年開始，通過兩年的對話制定了今日的選址流程，整個選址流程反映出加拿大各界人士的想法、經驗與最佳的建議，包含加拿大人期望有一個公開、透明、公平與富有包容性的流程來執行選址的想法，整個流程是在道德與社會框架下得以開發而出。除此之外，選址的流程是由「社區」所驅動，同時旨在確保所選的地點具備安全、可靠，還有一個有意願接納用過核燃料最終處置設施設置的社區。由此可見，整個選址流程不是僅需要透過一系列詳細的科學研究與檢測，來評估該地點是否具備完整的安全性及適當性，還需要尊重當地居民的權利，就該地區的社會、經濟與文化考量等項目進行評估，讓當地居民可完全接納這座最終處置設施，與其一同生活。



加拿大最終處置設施 9 階段選址流程

(資料來源：NWMO)

事前準備 加拿大核燃料廢棄物管理專責機構(NWMO)在向相關層級的政府、原住民組織與管制機構進行最終處置設施的簡要介紹後，公開了最終處置設施選址的流程。

步驟 1 NWMO 通過一個廣泛的計畫啟動選址流程，主要是提供訊息、回答問題，以及建立加拿大人對這項最終處置設施與整個選址過程了解。

步驟 2 對設有處置設施有興趣、且希望了解更多的社區，NWMO 則會提供更詳細的介紹，並執行初步審查(Initial screening)。

步驟 3 對於上述有興趣、且通過初步審查的社區，NWMO 則會對該地區是否存在潛在的合適性進行初步評估(Preliminary assessment)。

步驟 4 在上述確定具備潛在合適性、可符合設置最終處置設施必要條件的地區，完成更詳細的場址調查。

步驟 5 擁有合適條件的地區決定是否願意接納最終處置設施，NWMO 提出執行該處置設施建設計畫的條款與條件，最終確認有意願接納設置處置設施的地區。

步驟 6 在滿足所有管制機構要求，並獲得管制機構認可的前提下，與上述地區簽署設置處置設施的正式協議。

步驟 7 管制機構將執行獨立、正式與公開的審查流程，以確保處置設施符合所有必要條件。

步驟 8 地下實驗室(即示範設施)的建設工程與運轉。

步驟 9 處置設施建設工程與運轉。

參考資料：
1. Parliamentary Information and Research Service. “Nuclear Energy and Radioactive Waste Management in Canada, Library of Parliament Background Paper.”
2. Canadian Nuclear Association. “The Canadian Nuclear Factbook 2019.”
3. Nuclear Waste Management Organization. “Moving Forward Together: Process for Selecting a Site for Canada’s Deep Geological Repository for Used Nuclear Fuel.”
4. Nuclear Waste Management Organization. “Nuclear Fuel Waste Projections in Canada – 2018 Update.”
5. World Nuclear News. “Land access agreed for Canadian repository studies.” January 27, 2020.



核災倖存者從失蹤名單中找尋自己的名字。

311 核災 9 週年
福島事故中的幾個「如果」

文 劉振乾

緣起

日本 311 福島核災 9 週年之際，筆者花了時間重新細細閱讀日本原子力技術協會前理事長石川迪夫博士的大作：《考證福島原子力事故爐心熔融、氫氣爆炸如何發生的？》一書。

歷史上不容有「如果」的存在，雖是如此，「如果」能成立的話，就會有很多意外的發展。因此根據石川博士的大作，找出福島事故中的幾個「if」，盼能釐清事故的本質，也讓大家更清楚核能發電為什麼安全。由於石川迪夫博士是 1990 年代就認識的老朋友，他允諾筆者可以自由使用(翻譯引用)他的著作，在此向石川博士申致最大的謝意。

幾個「如果」發生，那會是什麼局面？

- 如果福島第一核電廠廠長知道 1 號機的緊急用冷凝器 (IC) 沒有啟動？
- 如果 3 號機反應爐廠房沒有發生爆炸？
- 如果 3 號機的高壓冷卻水注入系統 (HPCI) 沒有被人為關閉？
- 如果不是 3 月 11 日深夜就開始緊急疏散？

如果廠長知道 1 號機的 IC 沒有啓動

由下方圖 1 顯示緊急用冷凝器是放在編號第 3、很高的位置，水可自高處靠重力流下。緊急用冷凝器的中心是單純的冷卻用熱交換器，它的特性是配置於比反應爐高相當多的位置上，由反應爐上升的蒸氣通過熱交換器的管路冷卻，變為水再回流到反應爐，是利用自然循環原理的冷卻迴路，也是一種運用重力的可靠度極高的裝置。如果緊急用冷凝器正常的運轉，就不會發生 1 號機的爐心熔融與氫氣爆炸，事故的演變就會是很輕微的程度。

緊急用冷凝器的熱交換器的二次側有蓄水 100 噸，在設計上，停機後沒有任何補充也可繼續冷卻反應爐 8 小時。因此，如果沒有下述的 MO3A 隔離閥被關閉，即使沒有任何電力，也可以持續冷卻反應爐。

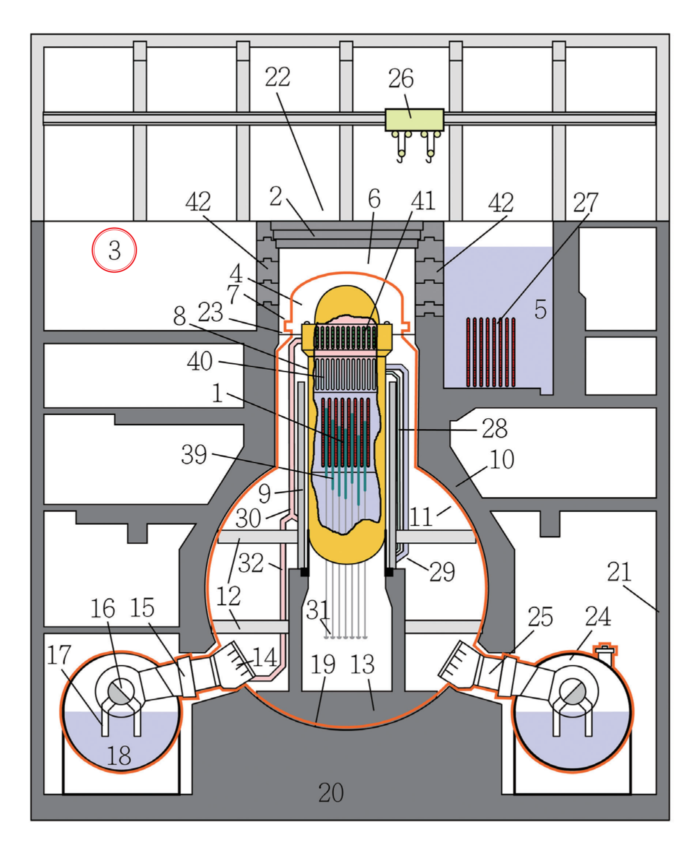


圖 1. 日本福島第一核電廠 1 號機反應爐廠房配置圖 (圖片來源 : 維基百科)

1 : 爐心包含燃料棒與反應控制棒 39，
3 : 緊急用冷凝器放置的位置，
4 : 乾井，
5 : 用過燃料池，
8 : 壓力槽，
10 : 混凝土屏蔽牆，
11 : 乾井，
18 : 水 (濕井)，
19 : 圍阻體，最上方的混凝土封蓋 2 可開啟交換燃料，
20 : 底部基座，
21 : 反應爐外建築物，
22 : 燃料更換平台，
24 : 抑壓室，抑壓室在底部基座周圍形成一個環形槽。
25 : 排氣口，
26 : 起重機，用來搬運燃料棒及替換組件，
27 : 過燃料，
28 : 冷凝液管，
29 : 冷水管，來自渦輪發電機組，
30 : 蒸氣管，往渦輪發電機組，
39:反應控制棒，由 31 調整插入深度調節反應。

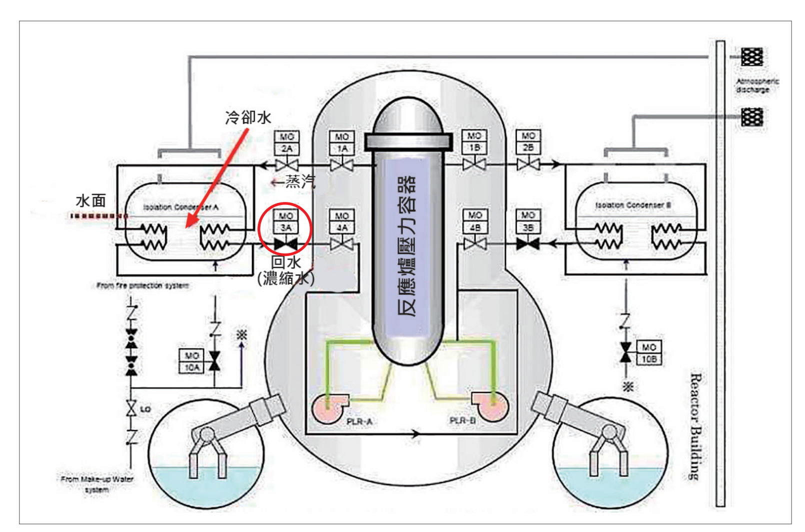


圖 2. 福島第一核電廠 1 號機緊急用冷凝器系統圖 (圖片來源 : NEI)

如圖 2 紅圈處所示，MO3A 隔離閥被關閉以致無法冷卻，但是訊息沒有上報，以致廠長等高層認為緊急用冷凝器仍然啟動中。否則，事故剛開始此隔離閥附近的輻射劑量不高，上級如果知道問題出在 MO3A 隔離閥，一定會設法搬一部輕便的移動式發電機或蓄電池供應電源，打開這個隔離閥，因為這是攸關生死的大事。等到電廠高層知道 1 號機的緊急用冷凝器沒有啟動的時候，已經是 3 月 11 日晚上 10、11 時，那時現場的輻射劑量已經迅速上升，無法派人前往現場。

事故剛發生時，電廠高層 (包含在東京的總部) 關心的是 2 號機「反應爐爐心隔離冷卻系統 (RCIC)」的運轉狀態不明，也以為 1 號機具有自然循環冷卻的緊急用冷凝器沒有問題，因此就未加以注意。以下解釋為何 MO3A 的隔離閥會被關閉：

11 日 14:46 發生強烈地震，反應爐自動停機。14:52 接收到反應爐壓力過高的訊號，按照設計，緊急用冷凝器自動啟動。15:03，也就是緊急用冷凝器啟動約 10 分鐘後，由於反應爐的冷卻速度太快 (每小時不得大於攝氏 55 度)，按照運轉規則關掉緊急用冷凝器，以關閉 MO3A 隔離閥的方式，這必須使用電力。

過了不久，反應爐的溫度壓力又上升，運轉員操作 MO3A 隔離閥，將反應爐的冷卻速度改手動控制，此一動作做了好幾次。運氣不好的是，當運轉員把 MO3A 隔離閥關閉後不久，海嘯來襲，1 號機失去所有電源，無法再度啟動 MO3A 隔離閥，也因此緊急用冷凝器無法啟動。

換句話說，如果海嘯來襲的時候，MO3A 隔離閥在「開」的情形下，以下的各種事故就不會發生了。可以斷言：太晚知道緊急用冷凝器沒有啟動，是事故因應行動上最大的失誤。

1 號機於 12 日 15:36 發生氫氣爆炸。其爆炸威力雖小，但是對於其他反應爐的事故因應行動帶來很大的影響。原本為了讓 2 號機有直接電源而連夜趕工，由於氫氣爆炸使電源車與電纜受損，一切努力化為烏有。2 號機在兩天後的 14 日 11:00 左右，因為反應爐爐心隔離冷卻系統泵浦停機，而發生爐心熔融。

如果 3 號機反應爐廠房沒有發生爆炸

緊急用冷凝器 (IC) 是自然循環原理的冷卻迴路，而反應爐爐心隔離冷卻系統 (RCIC) 則是使用蒸氣渦輪機驅動泵浦來冷卻，需要電力才能控制。

驅動泵浦的蒸氣是來自爐心的衰變熱，因此即使停電，動力仍可確保，但是其控制要靠直流電源 (電池)。而電池在海嘯來襲時受損，失去了控制反應爐爐心隔離冷卻系統的動力。

如圖 3 所示，反應爐爐心隔離冷卻系統的水源是來自抑壓室 (SC)。由泵浦打上來的水，經由注水配管進入反應爐壓力容器，補充因衰變熱所損失的水，需要電池的電力控制補給的水量，讓反應爐的水位保持於適當的位置。另一方面，衰變熱在反應爐產生的蒸氣，則在轉動渦輪機後經由冷凝器變成水再回到抑壓室。

也就是說，藉由反應爐爐心隔離冷卻系統使反應爐冷卻，是以抑壓室做為冷卻水來源使用，而在反應爐產生的蒸氣同樣也回到抑壓室，形成一個封閉的循環迴路。1 號機 MARK- Ⅰ型的圍阻體，抑壓室能貯存的水量約 3,000 噸。估計水量蒸發到一半時反應爐爐心隔離冷卻系統仍可以使用，也就是可以冷卻反應爐約兩天的時間。

其他受災的福島第二核電廠與女川核電廠都使用反應爐爐心隔離冷卻系統達成反應爐的冷溫停機，當反應爐爐心隔離冷卻系

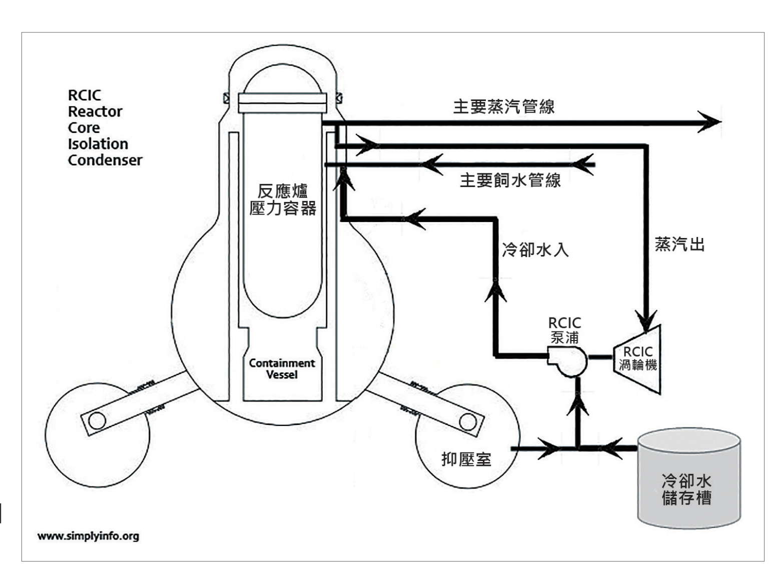


圖 3. 反應爐爐心隔離冷卻系統圖 (圖片來源 : www.simplyinfo.org)

統正常運轉時是不會發生爐心熔融的情形。

海嘯來襲的時候，直流電源 (電池) 受損，但是驅動泵浦的渦輪機在沒有控制電源的情形下，仍然繼續運轉，將水注入反應爐。值得注意的是，反應爐爐心隔離冷卻系統也和 1 號機的緊急用冷凝器一樣，設計上是針對 8 小時的停電，但是 2 號機的反應爐爐心隔離冷卻系統卻是運轉了大約 72 小時。

11 日 22:00，2 號機反應爐水位在 +3,400 公厘，也就是爐心上方的 3.4 公尺處。這紀錄一直維持到 14 日的 10:00 左右。證明反應爐爐心隔離冷卻系統運轉約 72 小時。

不幸的是， 14 日 11:01，3 號機的反應爐廠房發生氫氣爆炸，導致為了準備 2 號機注水所準備的軟管 (HOSE) 與消防車受損，無法使用。因此 2 號機的注水拖延到當天 20:00 才開始，這一延遲也導致 2 號機發生爐心熔融。有一個現象是超越三哩島事故—即使爐心完全沒有水，完全是乾燒的狀態下，也沒有發生爐心熔融現象。

有證明嗎？ 2 號機反應爐壓力由於水的蒸發從 14 日 10:00 開始上升，而 14:00 到 18:00 因為啟動釋壓閥，維持在 7.5Mpa，這顯示爐心獲得某種程度的冷卻，沒有發生熔融現象。假設發生爐心熔融，由於鋯與水氧化反應所產生的巨大熱能，必定會讓爐心水位發生劇烈的變化，同時反應爐壓力也會因氫氣的發生而急速上升。沒有這些突發的變化就可以證明到 18:00 沒有發生爐心熔融。

14 日 11:01 3 號機的反應爐廠房發生爆炸，為什麼是致命傷？因為 14 日 11:00 左右，2 號機反應爐爐心隔離冷卻系統的泵浦「彈盡援絕」終於停擺，完全喪失反應爐的冷卻能力，因此當天 18:00 左右，反應爐水位下降到爐心的最底部。雖是如此，燃料棒溫度由於有水蒸發所帶來的涼風冷卻，應在攝氏 1,000 度以下。

18:02，為了讓反應爐壓力下降，把釋壓閥操作轉為「開固定狀態」，讓高壓的蒸氣持續從釋壓閥釋出，反應爐壓力從約 8MPa 一下子降到 0.4–0.5MPa。由於這減壓的沸騰，燃料棒溫度下降到水的飽和溫度攝氏 150–160 度左右。

如果在這個時間點開始以消防車注入海水，事故狀況將大大改觀，因為冷卻的燃料棒護套不會發生鋯水反應，當然就不會引起爐心熔融，東京電力公司錯失良機！然而由於軟管與消防車受損，拖延了 2 小時後才注入海水，此時，燃料棒溫度已上升到攝氏 1,500 度。

必須確認的是：會引起爐心熔融的熱，不是衰變熱，乃是來自燃料棒護套的鋯水反應所產生的大量反應熱。會引起此反應則需要兩個條件：燃料棒溫度夠高、有充分的水。

圖 4 是美國花了 10 年時間於 1989 年才完成的精華，圖中的①是熔融的爐心，②則是熔融爐心被水冷卻後所產生的殼，其物理特性是如鑄鐵般堅硬的物質。在事故發生時這層硬殼發揮了作用，將熔融的

爐心與外側的水隔開，互不接觸。

讓我們感到有趣且重要的是，當熔融的爐心與水一接觸就馬上出現此硬殼。它將攝氏 2,000 度以上高溫的熔融爐心，和僅有數百度的水如楚河漢界一般予以阻絕。

要特別強調此一性質，是因為很多核能專家都相信：二氧化鈾發生熔融的溫度為攝氏 2,880 度，當爐心熔融與水接觸就會引起水蒸氣爆炸，這是錯誤的，是現代的迷信。在三哩島與福島事故中，當爐心溫度慢慢上升最後發生熔融的時候，就不會發生水蒸氣爆炸，且實際上也沒有發生。如鐵一般的硬殼就是證明。

圖 4 中的③是驅動控制棒上下的護罩 (cover) 沒有受事故的影響，仍維持原有形狀。這也足以證明熔融爐心的熱擾亂沒有到達此處，沒有發生爆炸等破壞力。由此可以說明「會引起爐心熔融的熱，不是衰變熱」。

如果 3 號機的 HPCI 沒有被人為關閉

3 號機在海嘯來襲後不久，其反應爐爐心隔離冷卻系統即自動啟動，但是沒有 2

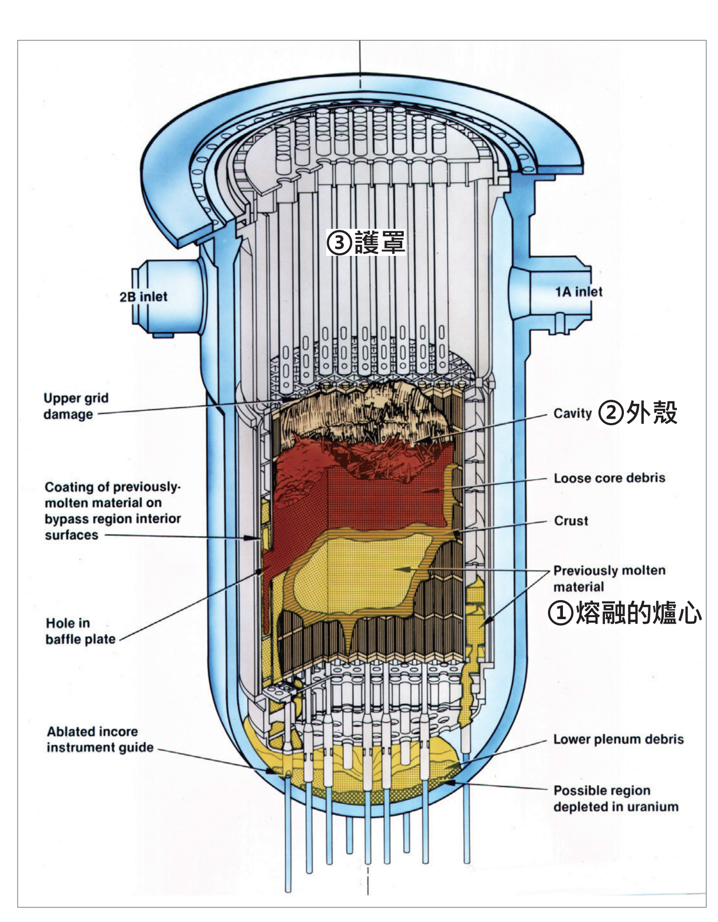


圖 4. 三哩島事故後爐心內的狀況 (圖片來源 : 維基百科)

號機的爭氣，運轉不到 1 天，在 12 日中午就停擺 (原因不明)。接到「反應爐水位過低」的訊號之後，高壓冷卻水注入系統 (HPCI) 即啟動，這時是 12 日 12:35。高壓冷卻水注入系統和反應爐爐心隔離冷卻系統相同，使用的動力源是衰變熱，因此沒有電源也沒關係，可照常運轉。

由於反應爐爐心隔離冷卻系統注入的水約攝氏 20 度，加上泵浦容量大，因此讓反應爐過度冷卻，反應爐壓力也過度下降，這導致反應爐爐心隔離冷卻系統的驅動蒸氣壓力減少，12 日中午反應爐壓力有 7.5MPa，當天 18:00 就降到 1 MPa 左右。泵浦的轉數變少，形成「跛足運轉」狀態。

孤立無援的電廠高層，想學 1 號機的最後一招，想辦法降低反應爐的壓力，使用消防車把海水灌入反應爐內。既然下了決心，就在 13 日 02:42 將「跛足運轉」的高壓冷卻水注入系統以手動方式停機。沒有想到打開「釋壓閥」卻花了 6.5 小時，到 13 日 09:08 才打開閥，反應爐壓力容器急速減壓，09:30 左右，急速減壓到 0.3MPa，而 1 大氣壓約為 0.1MPa。

這慢了好幾步的減壓已造成 3 號機爐心熔融，但是更正確地說：停掉反應爐爐心隔離冷卻系統泵浦才是失敗的主因。數字會說話：在停掉反應爐爐心隔離冷卻系統泵浦之前的 13 日 02:30，反應爐壓力仍維持在 1 MPa 以下很低的壓力；而在「跛足運轉」的階段，即使反應爐水位有下降，但是反應爐壓力沒有上升，因此燃料棒溫度也是低的。衰變熱雖讓水蒸發，但因為蒸發帶來的微風使爐心冷卻，讓燃料棒溫度維持在約攝氏 170 度。

當停掉反應爐爐心隔離冷卻系統泵浦後，反應爐壓力隨即上升。原因是用於驅動高壓冷卻水注入系統的蒸氣無處可去，把反應爐變成「三溫暖」。另一原因是，反應爐爐心隔離冷卻系統泵浦的「跛足運轉」僅是只有在轉，實際上並沒有將冷水打上來，如同汽車的怠速空轉一樣。泵浦只是將爐心產生的蒸汽經由渦輪機導入

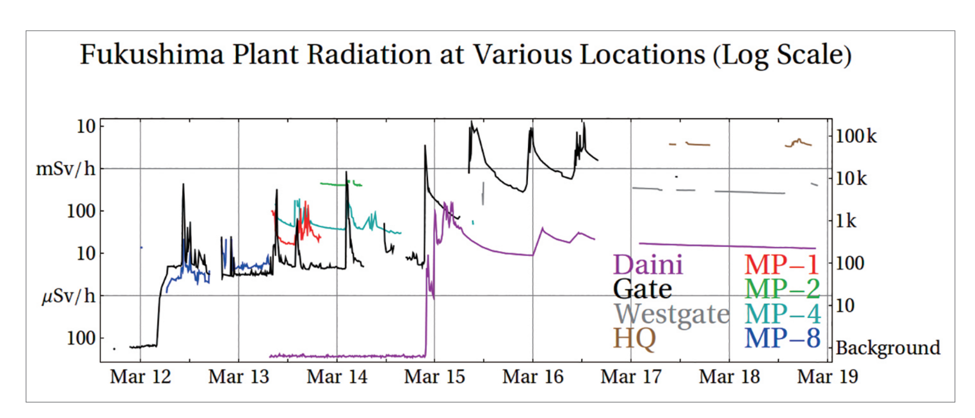


圖 5. 福島第一核電廠附近輻射劑量變化圖，其中黑色線為電廠正門的數據。(圖片來源：維基百科)

抑壓室，就像管路一樣的功用，也就是做為蒸汽與衰變熱的排放口。運轉員停掉反應爐爐心隔離冷卻系統泵浦，等於是奪走反應爐移除衰變熱的能力。經過這許多曲折，最後 3 號機反應爐廠房於 14 日 11:01 發生氫氣爆炸。

「事後諸葛亮」誰都會做，石川博士不忍苛責電廠的任何一人，因為在兵荒馬亂之際，恐怕連神仙都想不到反應爐爐心隔離冷卻系統有能力獨撐大局。

結論：如果上述的減壓操作是在不停止反應爐爐心隔離冷卻系統的情形下進行，就可以避免 3 號機的爐心熔融。再進一步說，2 號機也因此不會發生爐心熔融，也不會有後續 4 號機的事故。整起福島事故就會只局限於 1 號機的範圍而已，其後續影響力的巨大差異真是叫人欲哭無淚。因此可以看出反應爐爐心隔離冷卻系統的人為停機是何等重大的失誤！

如果不是 11 日深夜就開始緊急疏散

在圖 5 中黑色曲線可以看到福島第一核電廠正門附近的輻射劑量有 2 次明顯上升。第 1 次在 12 日 04:00 左右，是由於 1 號機爐心熔融所導致。爐心熔融將燃料中的微量輻射直接由廠房釋出到外界，因此電廠正門附近的輻射劑量上升到每小時約 4 微西弗，相當於 1 年約 20 毫西弗，而住宅地區約 2 毫西弗，這和國際輻射防護委員會 (ICRP) 向日本政府建議的緊急時避難劑量 20-100 毫西弗比較顯然低很多，只有 1/10，因此不到必須讓居民避難的程度。

但是到 14 日 22:00 偵測到第 2 次輻射劑量的上升，則是由於 2 號機的圍阻體破損導致，達到每小時約 300 微西弗，相當於 1 年約 1,500 毫西弗，在住宅地區則為 150 毫西弗。如果遵守 ICRP 建議的話，14 日深夜才需要發動居民避難。

然而日本民主黨政府卻在震災當天 3 月 11 日的深夜，在沒有任何預告下，突然發動居民避難。居民在緊急收拾細軟的踉蹌狀態下，搭上巴士，連去處都不是很確定的匆忙上路。根據國會事故調查委員會的文件，7 家醫院的住院患者以及養護中心的民眾，至少有 60 位由於緊急避難而死亡。在沒有明確的根據下，強行實施緊急避難的政府責任非常嚴重。

福島事故發生 9 週年的今日，回顧以上的種種「如果」，實在令人感慨萬千。

（本文譯者為台電公司退休工程師）





日本政府調整核能計畫的預算

譯 石門環

前言

原子力規制委員會(Nuclear Regulation Authority，簡稱 NRA)是日本的核能管制機關，成立於 2012 年 9 月。在此之前，日本的核能推展機關是資源能源廳，主要的管制機關是原子力安全保安院，兩者均隸屬於經濟產業省。2011 年 3 月 11 日福島第一核電廠發生事故後，原先分散在內閣府原子力安全委員會、文部科學省，以及國土交通省的核能管制相關業務，後來均納入原子力規制委員會管轄。另外，2014 年 3 月起，原本擔任管制支援機關的獨立行政法人原子力安全基盤機構(JNES)亦併入原子力規制委員會中，從此日本進入核能管制一元化的時代。

原子力規制委員會令和元年度(2019 年 4 月 -2020 年 3 月)預算為 449 億 2,842 萬日圓，員額為 1,005 人。令和 2 年度

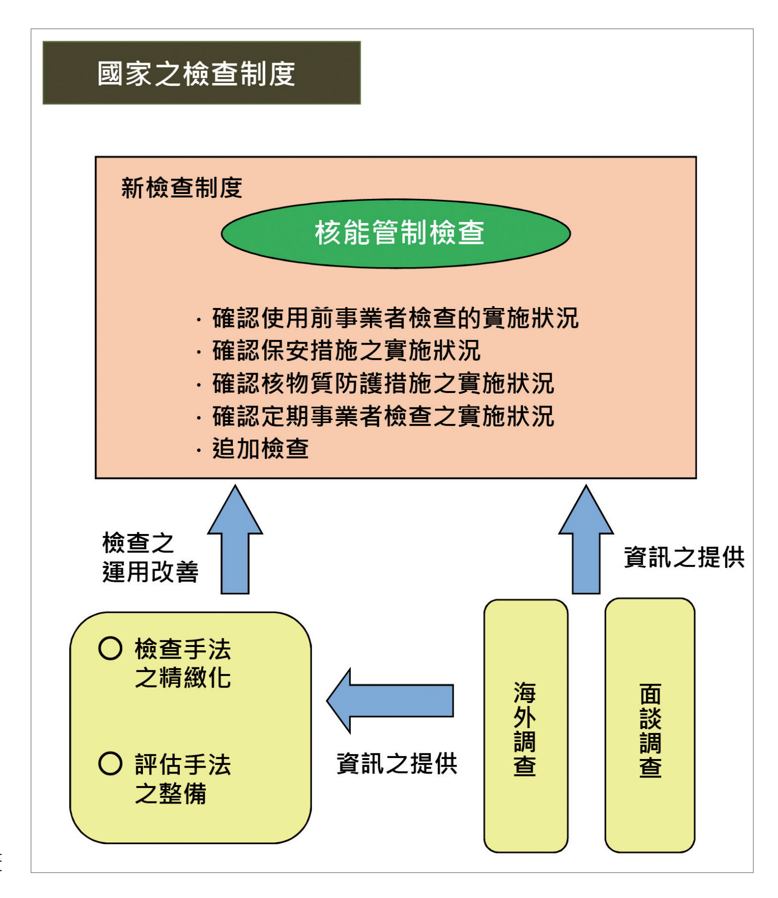
(2020 年 4 月 -2021 年 3 月) 主要計畫包括維持嚴格的核能管制與管制活動的安全研究、核子災害對策及輻射偵測體制的強化、確保核能安全有關基本人才的強化、福島第一核電廠除役作業的監管、以及組織體制與運作的持續改善等，其中新編預算科目為應用實體設備材料的經年劣化評估、驗證計畫。

另外，依據外部專家學者的建議，2020 年度預算與 2019 年度比較，主要變動為：1. 核能安全研究體制之事實、強化計畫，由 8 億 2 千 3 百萬日圓增至 30 億 9 百萬日圓，主要針對研究成果應由外部研究機關與原子力規制委員會共享，且在原子力規制委員會內留存累積； 2. 核電廠設施緊急時對策通信設備之整備計畫，由 34 億 8 千 5 百萬日圓增至 40 億 7 千 8 百萬日圓，主要針對資安 (Cyber Security) 及防恐對策的強化。

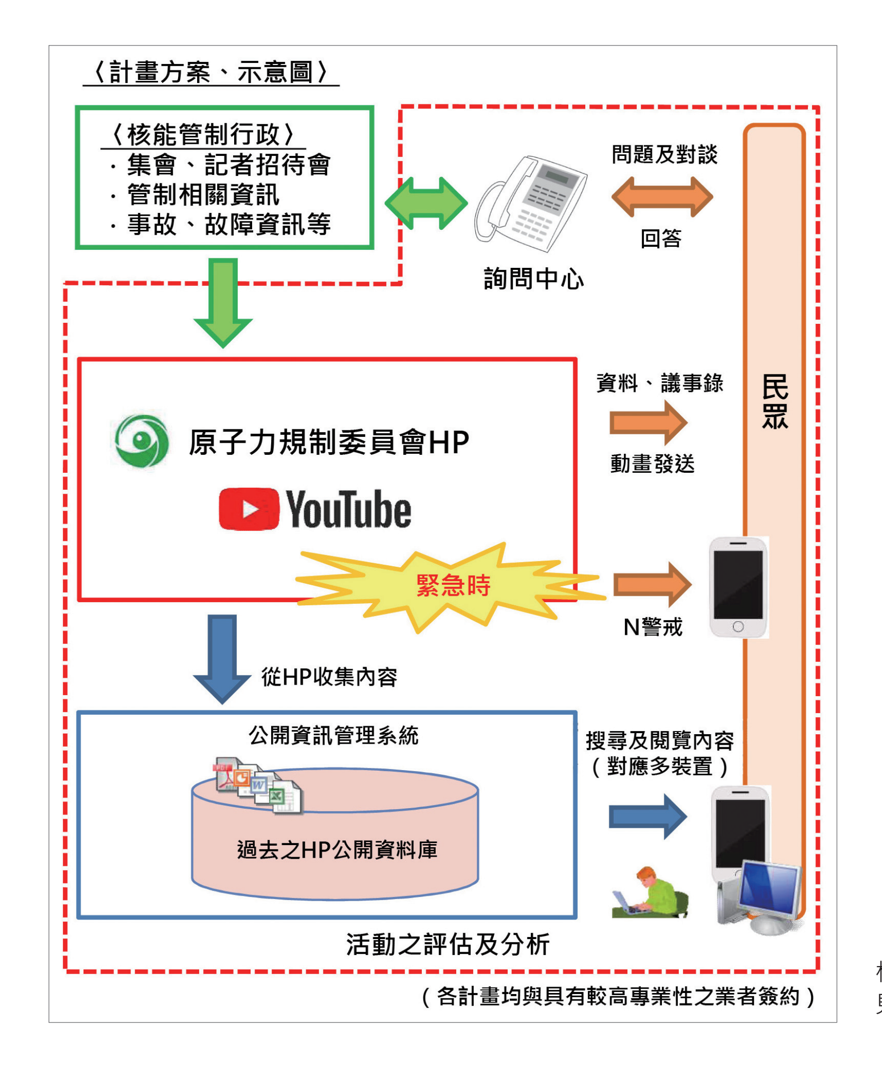
2020 年度日本原子力規制委員會主要計畫概要

一、維持嚴格核能管制與管制活動的安全研究

1. 確實執行新檢查制度、修訂反應爐等管制法。



核能管制檢查之體制整備計畫



核能安全管制資訊聽取民眾意見及宣導計畫

2. 提升決策過程的透明度及重要文件的公開，確保核能管制的信賴度。
3. 為求建立並維持核能管制等堅強穩固的技術基礎，以檢查等核能管制活動有實質性應用為重點，推進安全研究。

主要計畫項目與預算：

- 核能管制檢查的體制整備計畫 ☆ 67(90) 修正為 145[209]
- 核能安全管制資訊聽取民眾意見與宣導計畫 ☆ 676(631)
- 技術基礎領域的管制精緻化研究計畫（應用風險資訊）☆ 315(290)
- 應用實體設備材料的經年劣化評估、驗證計畫☆ 1,003（新編）

說明：

1. ( ) 內為 2019 (令和元年) 年度最初預算額、修正部分為 2019 年度修正預算額。
2. [ ] 內為 2018 (平成 30 年) 年度的修正預算額。
3. 會計區分：◇：一般，☆：能源對策特

別會計，○：災區復興

4. 單位：百萬日圓

二、核子災害對策、輻射偵測體制強化

1. 進行高科技曝露醫療支援中心設備的整備，作為核子災害醫療體制的主要設施。
2. 核子災害危機管理用資訊基礎設施及平常、應急時的輻射偵測相關設備更新等。

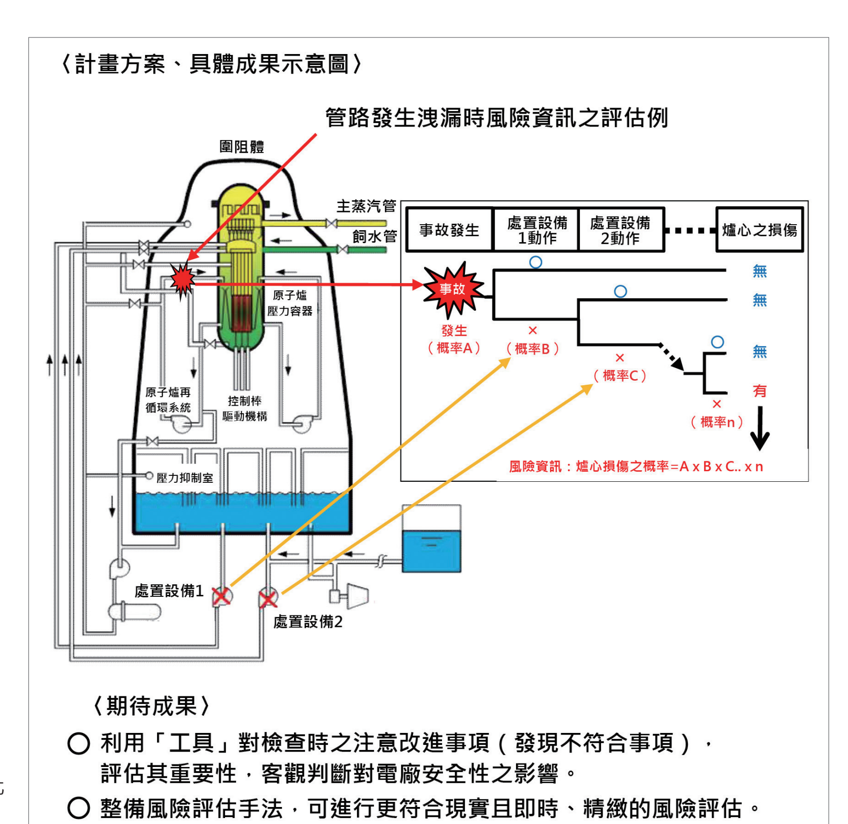
主要計畫項目與預算：

- 確保核子災害等醫療實效性計畫 ◇☆ 487(484) 修正 1,185[1,635]
- 核能發電設施等緊急時對策通信設備等整備計畫 ☆ 3,752(3,485)
- 緊急時偵測體制整備計畫 ☆ 1,200 (1,181) 修正 86 [107]
- 輻射監視等補助金 ☆ 4958(5,350) 修正 1933[2500]

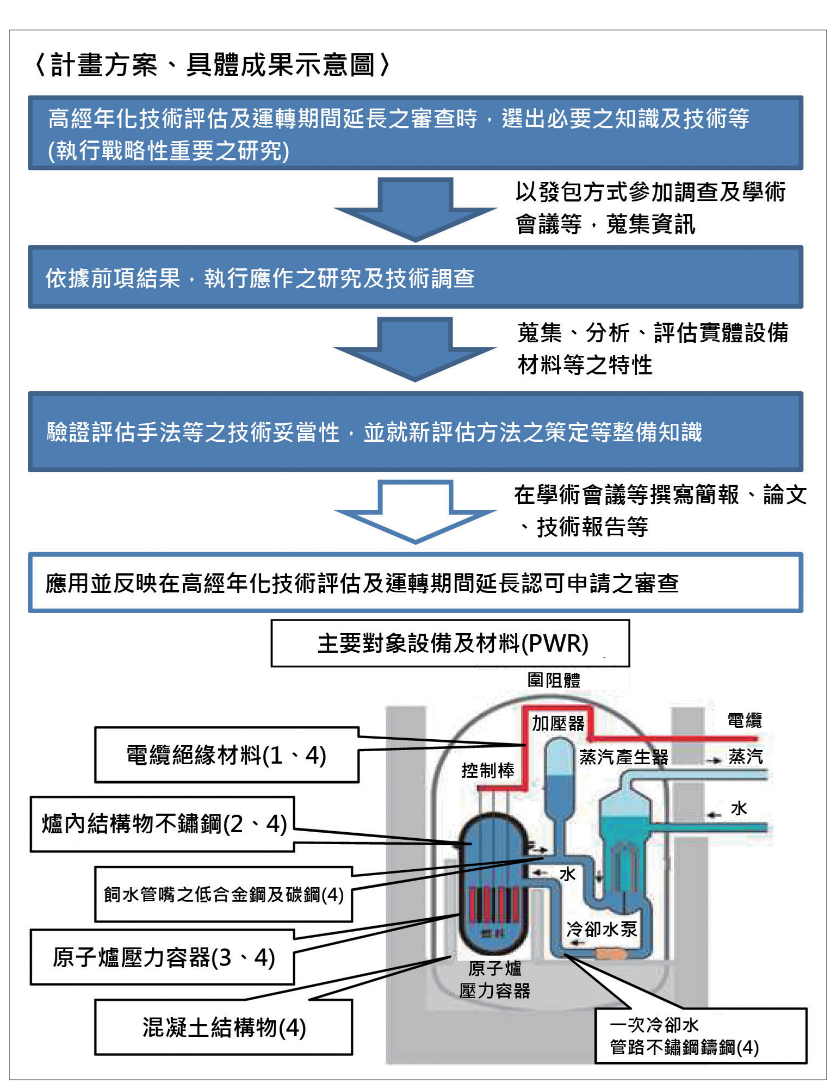
※ 除了「防災、減災、國土強化的 3 年緊急對策」有關的臨時、特別措施以外為4,827 (4,727)。

修訂後反應爐管制法的施行與持續性改善

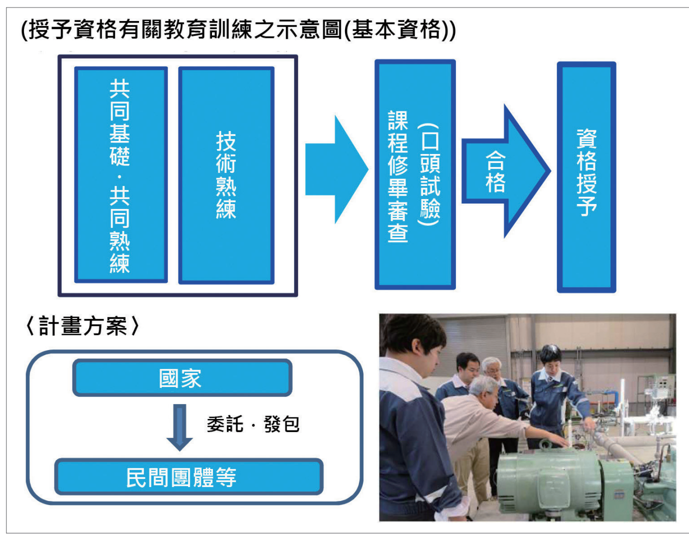
有關 2020 年度起施行的新檢查制度，就業務系統的充實及持續性改善進行調查。



技術基礎領域之管制精緻化研究計畫(應用風險資訊)



應用實體設備材料等之經年劣化評估、驗證計畫



核能檢查官員之研習計畫

核子災害醫療據點設施設備的整備

高科技曝露醫療中心的專門設施設備及物資、器材的整備、災害醫療體制的充實。

維持並強化通信設備以因應緊急時的需要

維持並強化連接緊急應變據點（官邸、ERC、OFC 等）的通信設施，使其在緊急時可迅速、確實因應。

三、確保核能安全有關基本人才的強化

1. 維持並提升原子力規制廳職員的知識及能力，為保持組織的高度專業性，持續舉辦各種研習。
2. 與研究機構及大學共同研究，充實並強化職員執行研究的體制。
3. 為確保具有核能安全及核能管制所需學識的人才，持續與大學等合作，執行人才培育計畫。

主要計畫項目與預算：

- 核能檢查官等研習計畫 ☆ 429(416)
- 電廠模擬器研習計畫 ☆ 284(272)
- 核能安全研究體制的充實、強化計畫 ☆ 899(823)
- 核能管制人才培育計畫 ◇ 350(359)

以持續性研習提升檢查官員的能力

依據配合檢查官資格制度的研習課程，進行專業研習，以維持並提升檢查官的專業能力。

安全研究配合強化研究職務的專業性

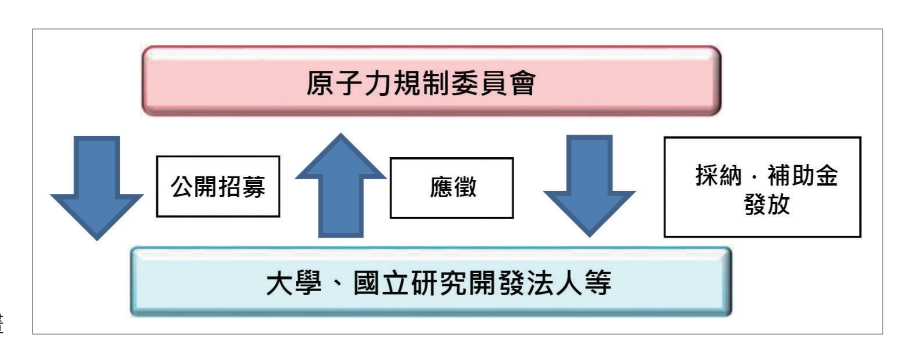
利用與大學及研究機構的合作、共同研究，進行具有實踐性的安全研究，並累積研究人員的專業技術知識（know how）。

四、監管東京電力福島第一核電廠的除役作業

1. 依據推動安全研究所獲得的知識，適當監督東京電力福島第一核電廠的除役作業。另外，除了確實依計畫執行事故後輻射量測以外，也持續將其結果以淺顯易懂的方式提供資訊。
2. 依據現場調查所獲得的資訊，針對東京電力福島第一核電廠事故的原因進行分析、評估。

主要計畫項目與預算：

- 東京電力福島第一核電廠除役作業相關



核能管制人才培育計畫

的安全研究計畫　☆ 1,076(1,041)

- 環境輻射量測等必要經費 ○ 1,086(1,137)
- 核子受災者環境輻射偵測對策相關的補助金計畫 ○ 800(800)

有助於除役作業安全的調查研究

為使福島第一核電廠的除役作業能安全且有效率地進行，針對燃料碎片的核子特性評估方法，及廢棄物的處理、管理、運輸有關知識進行整備。

福島第一核電廠事故原因分析與評估

有關福島第一核電廠事故原因，依據現場調查所獲得的資訊，進行詳細的分析、評估。

五、組織體制及運作的持續改善

2020 年度員額增加 30 人

→ 2020 年度末之員額；包括合理化裁減等，純增員額 18 名，總數 1,074 名。

1. 為因應核子設施的新檢查制度、特定重大事故等因應設施的審查、東京電力福島第一核電廠的事故分析等，在執行核子設施的檢查與審查的部門等增加 30 人的員額。

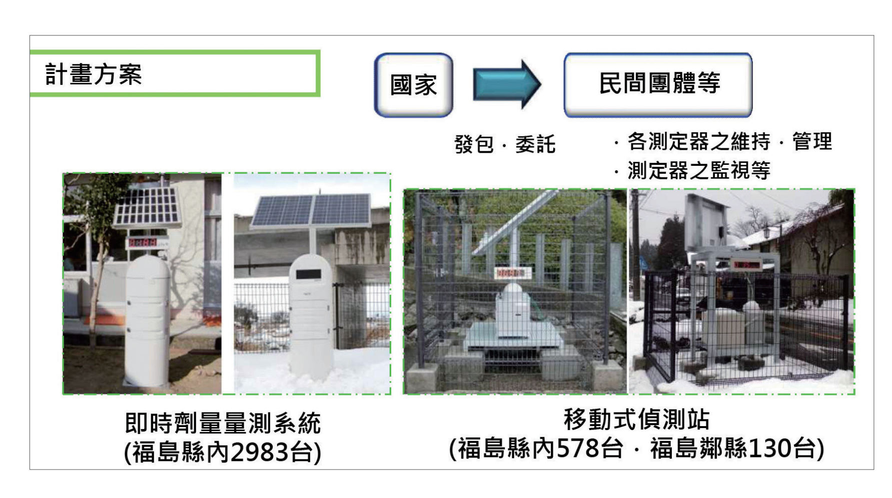
主要增加員額內容：

- 核子設施檢查體制的強化 7 名
  ※ 增加上述 7 名，另以代理原子力規制委員會員額的方式，預定再增加 6 名。
- 核電廠審查體制的強化 7 名
- 福島第一核電廠事故分析體制的強化 3 名

結語

福島核災發生後，日本政府並未放棄核能發電，而是不斷投入經費、人力研發精進安全管制的相關體制，以及強化緊急應變的專業知能，值得我國參考。

（本文譯者為原子能委員會技正退休）



環境輻射量測等必要計畫

資料來源：
原子力規制委員会の令和元年度補正予算案及び令和2年度当初予算案・機構定員案について，2019 年 12 月 25 日，原子力規制委員會



人造樹葉可改善空氣污染、製造燃料

譯 **編輯室**

植物利用空氣中的水和二氧化碳，藉著太陽光產生碳水化合物的過程，稱為光合作用。「人造樹葉」的構想是模仿光合作用，利用陽光能源的機制，產生潔淨的氧氣，除了可減少大氣中的二氧化碳，還可便宜地將有害的二氧化碳轉化為有益的替代能源，生產燃料。

可製造潔淨空氣的人造樹葉

英國劍橋大學一項研究證明，利用一種碳中和裝置，能以持續和簡單的方式產生一種合成氣體。合成氣體是由氫氣和一氧化碳的混合物製成，可用於生產各種商品，例如燃料、藥品、塑膠和肥料。

劍橋大學化學系教授瑞斯納(Erwin Reisner)說：「你可能沒有聽說過合成氣體，但是每天都會消費使用合成氣體所製造的產品。能持續不斷生產這種合氣體非常重要，將可結束全球碳循環，並打造出可永續的化學與燃料工業。」為實現此一目標，他耗費了 7 年的時間。

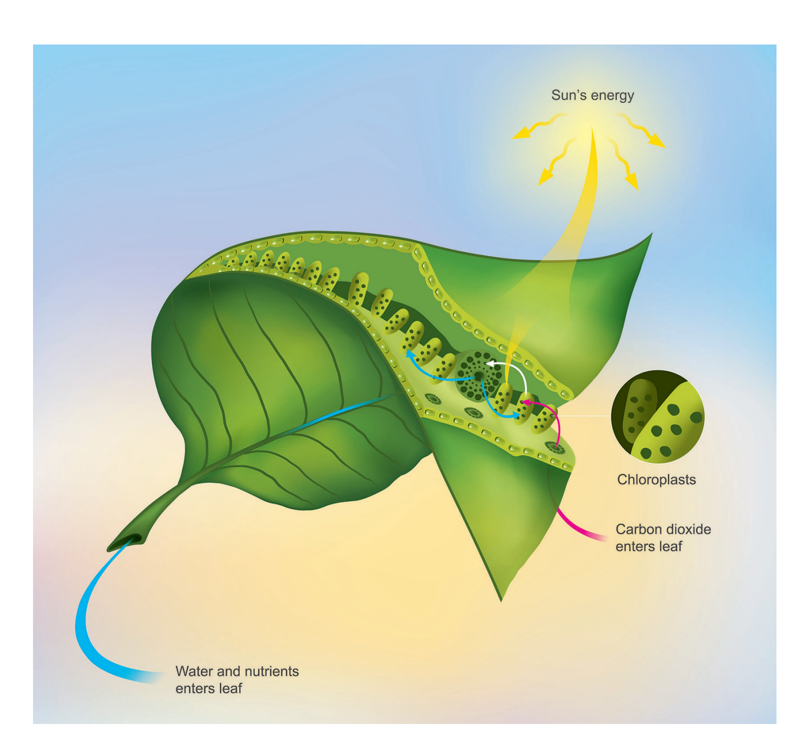
人造樹葉不是利用化石燃料來運作，而是藉由陽光驅動，即使在陰天仍然可以有效地工作，在太陽能領域中樹立了新的標竿。它與目前生產合成氣體的工業過程不同，人造葉片不會向大氣釋放任何額外的二氧化碳。這項研究結果發表在《自然材料 (Nature Materials)》期刊上。

瑞斯納及其同事製造的設備，是受到光合作用的啟發，光合作用是植物利用太陽光的能量將二氧化碳轉化為養分的自然過程。在人造葉片上，兩種「光吸收劑 (類似於植物中吸收陽光的分子)」和天然的鈷元素所製成的觸媒相結合。將設備浸泡在水中時，其中一種光吸收劑會利用觸媒產生氧氣；另一種則會進行化學反應，將二氧化碳和水還原為一氧化碳和氫氣，而形成合成氣體混合物。研究人員發現，即使在下雨天或陰天、低日照的環境中，這些光吸收劑也能正常運作，真是一項額外的獎勵。

這篇論文的第一作者—博士生安德烈（Virgil Andrei）說：「由此可見，這項技術在氣候溫暖地區以外的國家也可使用，也不只是在夏季，我們可以在世界任何地方，從黎明到黃昏都能使用這種技術。」

將人造樹葉從實驗室移至室外

到目前為止，所有在實驗室中測試過的人造葉片設計都是使用來自壓力罐中、經過濃縮加壓的二氧化碳。為了在真實世界



瑞斯納及其同事製造的設備，是受到光合作用的啟發。

中也能施行成功，這些設備要能從大氣中吸收稀薄的二氧化碳，例如燃煤發電廠所排放的空氣和煙塵。

美國伊利諾大學芝加哥分校的研究人員提出了一項方案，可以將人造葉片帶出實驗室進入自然環境。經過改良後的葉子可將二氧化碳轉化為燃料，效率至少是天然葉子的 10 倍。他們的成果發表在《ACS 永續化學與工程 (ACS Sustainable Chemistry & Engineering)》期刊上。

芝加哥大學工程學院化學工程系助理教授辛格 (Meenesh Singh) 表示：「只要在傳統的人工葉片外包覆一種特殊的薄膜，就可像天然葉片一樣在室外發揮作用。」

研究團隊將傳統的人造葉片封裝在由四級銨鹽樹脂 (quaternary ammonium resin) 製成的半透水薄膜中，再充滿水成透明膠囊的形狀。當陽光加熱時，薄膜可使內部的水蒸發掉，當水通過薄膜流出時，會吸收空氣中的二氧化碳。膠囊內部的人造光合作用單元，是由光吸收劑組成，光吸收劑上塗有可將二氧化碳轉化為一氧化碳的觸媒，可以將其虹吸掉並用作產生各種合成燃料的基礎。此外，還會產生氧氣，可以收集起來或將氧氣釋放到周圍的環境中。

根據他們的計算，每片長 1.7 公尺、寬 0.2 公尺共 360 片的葉子，每天可產生近 0.5 噸一氧化碳，可做為合成燃料的基礎。這些覆蓋了 500 平方公尺面積的人造葉片，只要一天就可將這覆蓋面積周圍 100 公尺的空氣中二氧化碳含量降低 10%。

辛格說：「我們的設計概念是使用現有的材料和技術，這些材料和技術結合起來可以製造出在實驗室外使用的人造葉子，在減少大氣中溫室氣體方面發揮了重要功效。」

可將二氧化碳轉變成燃料

劍橋大學的研究團隊目前正在進一步研究，使用人造葉片來生產液體燃料以替代汽油的方法。現在，合成氣體已成為生產液體燃料的基礎。瑞斯納教授表示：「接下來，我們要做的是只用一個步驟直接將二氧化碳和水製成液態燃料，而不是先製造出合成氣體然後將其轉化為液態燃料。」

雖然利用風能和太陽能等再生能源發電已有長足進展，但合成汽油的發展仍至關重要，因為目前的電力生產只能滿足全球總能源需求的 25%。瑞斯納教授表示:「對液體燃料的主要需求是可持續地為重型運輸、海運和航空提供動力。」

安德烈說：「我們的目標是可持續生產像乙醇這種能輕鬆用做燃料的產品，利用二氧化碳還原反應，一個步驟直接從陽光中產出。這雖具有挑戰性，但是我們有信心，我們是朝著正確的方向發展，並且擁有正確的觸媒，相信我們將能製造出一種裝置，可以在不久的將來證明此一過程。」

人工光合作用可製造甲醇與氧氣

加拿大滑鐵盧大學 (University of Waterloo) 工程學系近期發表於《自然能源 (Nature

Energy)》期刊的一篇論文，同樣也是利用人造葉片生產燃料的研究，計畫主持人吳 (Yimin Wu) 教授表示：「我們將此發明技術稱之為人造葉片，因為是模仿真正的植物葉片以及進行光合作用的過程；不同於天然樹葉的光合作用是產生葡萄糖與氧氣，我們的研究則是產生甲醇與氧氣。」利用二氧化碳轉化生產甲醇，不僅可降低溫室氣體的禍首二氧化碳排放，轉化而來的甲醇還可做為化石燃料的替代能源使用。

此技術的關鍵在於製造出一種經過改良且成本低廉的紅色粉末—氧化亞銅 (cuprous oxide)，這種粉末是利用葡萄糖、乙酸銅 (copper acetate)、氫氧化鈉以及十二烷基硫酸鈉 (sodium dodecyl sulfate) 等 4 種化學品混合，加入特定溫度的水而製成，盡可能製造出越多具有 8 個面向的微粒。這種粉末具有觸媒功能，與水混合、導入二氧化碳以及一束由太陽光模擬器散射的白色光束後，催化產生出另一種化學反應。

吳教授補充說明，這是他們自 2015 年以來持續進行，沒有其他團隊曾經如此嘗試過的研究。此一化學反應如同光合作用般產生氧氣，並且將上述水 - 粉末溶液中的二氧化碳轉化成甲醇，然後藉由加熱溶液揮發時收集甲醇。

接下來該團隊仍將繼續研究提升甲醇生產率，並且將此專利製程商業化，推廣於主要溫室氣體排放的來源，例如發電廠、運輸汽車以及鑽井採油等，應用於收集並轉化其中的二氧化碳做為替代能源，造福人類。



參考資料：
1. 'Artificial leaf' successfully produces clean gas, Science daily, 2019/10/21
2. Moving artificial leaves out of the lab and into the air, Science daily, 2019/02/12
3. Scientists create 'artificial leaf' that turns carbon into fuel, Science daily, 2019/11/04

英國確立深層地質處置場選址的關鍵要素

譯 **編輯室**

負責英國開發深層地質處置設施的英國放射性廢棄物管理有限公司（Radioactive Waste Management Limited, RWM），最近確定了在英格蘭與威爾士地區建立一座最終處置設施的場址評估方式，其中安全、地方社區，以及環境保護是評估內容中關鍵的一部分。

英國放射性廢棄物管理公司表示，只有同時在有意願的居民以及有合適地點的情況下，才有可能建立最終處置設施。在英國政府政策與立法的指引下，英格蘭與威爾士地區的「選址要素」將有助於評估潛在場址的合適性，以及英國放射性廢棄物管理公司在選址過程中與有意願進入選址流程的社區進行的對話。這些選址要素有6項，分別為：安全與保安、社區民眾、環境、工程可行性、運輸，以及價值（value for money）。

此外，英國放射性廢棄物管理公司也強調，「由於只有在同時找到合適的地點以及有意願接受的社區才會建立處置設施，因此讓各社區民眾以及其代表人充分了解我們『如何評估合適性』是非常重要的。最近公布的場址評估文件中所列出的『選址要素』，就是為了在與有興趣了解接納最終處置設施好處的社區進行合作時，用來評估各個提出申請的地點是否適合建立處置設施的方式。」

英國放射性廢棄物管理公司在去（2019）年1月時，已就這項最終處置設施場址評估草案進行為期12週的磋商，同時也收到約90份的正式回覆，這些回覆將有助於確立最終評估的內容。

英國使用核能至今已有60年的時間，除了用來生產電力，也用在工業、醫療與國防方面，這些使用也產生了一定數量的放射性廢棄物，需要進行安全管理，目前這些放射性廢棄物均儲存在英國30多座地面設施中。而由高度工程化的一系列地下地窖與隧道所組成的深層地質處置設施，除了用來永久處置高放射性廢棄物之外，同時也可確保超過標準、對人體有害的放射性物質不會抵達人類的生活環境。

資料來源：

World Nuclear News. “UK sets out siting factors for geological radwaste disposal,” February 19, 2020.

川普撤回對雅卡山最終處置計畫的支持

譯 編輯室

美國總統川普在今（2020）年 2 月初透過社群軟體推特（Twitter）發表了一則有關雅卡山（Yucca Mountain）最終處置場的貼文，表示聽到內華達州州民的聲音，將對美國在雅卡山建立這座最終處置場計畫的政策做出改變。川普先前的預算中包含了用於開發這座位於拉斯維加斯南方約 90 英里處最終處置設施的資金，但根據美國兩位高等政府官員的敘述，在最新的支出計畫中將不包含任何重啟該處置計畫的資金。

隨著美國總統大選的逼近，大多數選民反對雅卡山最終處置計畫的內華達州，是一個至關重要的搖擺州（swing state）。1987 年，當時美國國會指定雅卡山為深層地質處置場唯一場址，將用來儲存來自美國核電廠約 7 萬多噸的放射性廢棄物。但是，這項計畫至今仍處於擱置的狀態，並受到內華達州議員的強烈反對。一直到美國前總統歐巴馬就職期間，決定削減雅卡山處置場投入的資金，並主張在進行了數項的專家研究後發現該處置設施計畫對環境將帶來負面的影響，因此是個「不可行」的選擇。

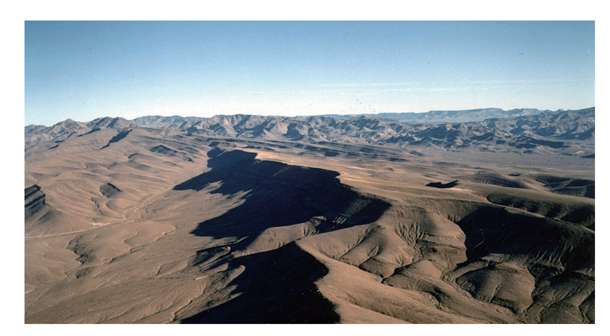
現任總統川普上任後，曾支持恢復該處置設施計畫，但川普在 2018 年時告訴內華達電視台，在參與共和黨黨員海勒（Dean Heller）於內華達州的競選連任失利後，他開始重新考慮這項計畫。

川普在過去的 3 次年度預算中均要求重啟雅卡山處置場計畫的執照審查流程，去年時在今年的預算中編列了 1.16 億美元（近 36 億元新台幣），前幾年則是每年均 1.2 億美元。

川普這次在自己的推特上表態，「內華達州，我聽到你們對雅卡山的想法了，我的內閣會尊重你們的。」並承諾「國會跟前幾屆的政府長久以來一直未找到永久的解決方案，我們保證會找尋新的方式，我相信我們能做到。」

內華達州民主黨參議員凱瑟琳（Catherine Cortez-Masto）也在這則推特上回覆川普，「期待能與川普一同合作，來解決內華達州這項關鍵的議題，我也會確保川普未來的預算將不會編列任何的資金來重啟雅卡山這項失敗、且受大多數內華達州民反對的最終處置場計畫。」

過去，內華達州議員與首都華盛頓之間



美國雅卡山(圖片來源:Nuclear Engineering International)

關於放射性廢棄物的關係，因為川普內閣公布政府約在 2018 年 11 月前秘密的從南卡羅萊州運送一批鈽至內華達州而惡化，這一批鈽是來自一個在南卡羅萊州於冷戰時用來製作核武的場址。

美國環保團體自然資源守護會（Natural Resources Defense Council）的律師費特斯（Geoff Fettus）在川普於推特上發表宣言後表示，「隨著川普政權改變方向，數十年來持續不斷將核廢料掩埋於雅卡山的意圖，終於正式劃下句點。國會現在必須朝向一個新的、建立在可靠科學上的，以及內華達州政府與公民均同意，也在遵守所有環境法律下的方向前進。」

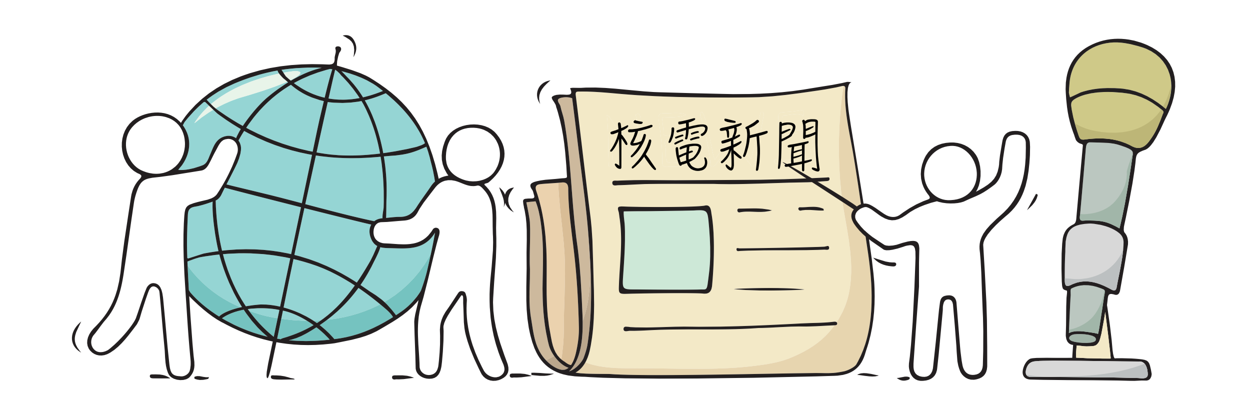
美國能院部副部長布魯耶特（Dan Brouillette）（編按：現為美國能源部長）對此表示，美國將開始調查用過核燃料其他的儲存方式，例如中期或暫時儲存場址。目前德州與新墨西哥州均表示有意願接受核廢料處置場，但若選在這兩處地點均會面臨到大量的運輸問題。目前美國用於發電用途所產生的用過核燃料均貯存在各座核電廠內，在用過核燃料池待上一段時間後轉移至乾式貯存設施內貯存。

美國知名能源設備與系統供應商 Holtec International 公司在 2017 年初就已向美國核能管制機構核能管制委員會（NRC）提交了一份許可申請，期望能在新墨西哥州東南部建立一座獨立的綜合中期臨時貯存設施，核管會期望能在 2021 年初公布該座中期貯存設施的環境影響聲明。另外，另一間放射性廢棄物管理專門公司 Interim Storage Partners 也計畫在德州安德魯斯郡（Andrews County）建立與營運一座類似的中期貯存設施，核管會審查預計可於 2021 年完成。

布魯耶特也告訴記者：「在中期貯存這段時間，直到國會決議採取動作前，我們將致力於實現檯面上任何可能出現的解決方式，與美國各州的政府、國會議員、立法委員一起。」。

資料來源:

1. Nuclear Engineering International. "Trump withdraws support for Yucca Mountain," February 10, 2020.
2. Reuters. "Trump halts support for Yucca Mountain, Nevada nuclear waste dump," February 07, 2020.



國外新聞

日本福島第一核電廠周圍再度解除部分避難指令

日本自 2011 年福島事故以來，在福島第一核電廠周遭雙葉町（福島第一核電廠廠址座落在雙葉町與大雄町邊界）一直實行的避難指令，在最近於雙葉町的部分地區解除。解除避難指令的地區為雙葉町東北部輻射水平相對較低的地區，以及一個原是無法進入、但已透過除汙工作降低輻射水平的地區。

雙葉町在 9 年前是日本唯一一個面臨到全境都需要疏散的自治市，這也是日本福島事故後首次有禁止進入的地區獲准解除避難指令，但該地區的官員表示，由於重建基礎設施進展仍非常緩慢，目前不會有任何原居民返回此地居住。該町現在正在建造一座工業園區與其他公共設施，他們希望能在 2022 年讓撤離的居民可以返回此地居住。

日本首相安倍晉三也在福島事故 9 週年紀念日前夕至福島訪問，除了在浪江町的公墓上為受難者獻花默哀，安倍也到雙葉町進行探訪，了解目前恢復的情況，雙葉町町長也向安倍介紹了該地區的重建工作。安倍在面對記者採訪時表示，「我期望能與所有國民一同建設一個新的福島，一個不是只有被疏散返回的人民，還有來自日本其他地區的國民都可以居住的福島。」安倍也強調，政府會增加補貼以幫助開創有吸引力的工作環境，「沒有福島的重建，日本就永遠不可能恢復至原先的模樣。」

NHK, 03/04/2020, 03/07/2020

日本女川核電廠 2 號機組達重啓標準

日本核能管制機構原子力規制委員會（NRA）最近批准了位於宮城縣女川核電廠 2 號機組的重啟申請，認定該部機組符合重啟運轉的審查標準。該座核電廠是日本最靠近 2011 年東日本大地震震央與海嘯的核電廠，但遭受的破壞卻遠少於預期。事發當時電廠內部 5 條備用電源有 4 條因地震而損毀，剩餘的 1 條為 3 座機組提供了充足的電力，使機組能進入冷停機的安全狀態，電廠的結構也明顯未受地震損害。

負責女川核電廠營運的東北電力公司，在 2013 年 12 月就向管制機構提出 2 號機的安全評估申請，以驗證該部機組採用的對策符合福島事故後的新核安標準，包括提高抗震能力，以及修建一座高 29 公尺、長 800 公尺的防海嘯牆等，這些工程預計將可於 2021 年完成。東北電力公司已決定除役該座電廠 1 號機，並在考慮向管制機構申請重啟 3 號機。

目前女川核電廠 2 號機仍需要獲得當地政府的准許，才可重啟。東北電力公司對此表示，公司已採取了各種措施，包含電廠參訪以及資訊的宣導，希望能贏得當地居民的信任。

World Nuclear News, 01/10/2020

加拿大中低放射性廢棄物最終處置設施計畫遭當地原住民否決

居住在加拿大休倫湖（Lake Huron）周圍的一個原住民團體 Saugeen Ojibway Nation 在經過一年的磋商後，於最近的投票以壓倒性的多數否決了擬在該地點附近建立一座地下中、低放射性廢棄物最終處置設施的計畫，這可能代表著這個耗資數十億美元、同時也在政治上飽受爭議的計畫將劃下句點。

Saugeen Ojibway Nation 以超過 8 成的反對票數（170：1,058），拒絕將這座中低放最終處置設施建立在安大略省金卡丁地區（Kincardine）的布魯斯核電廠（Bruce Nuclear Power Plant）旁邊。該原住民團體在聲明中指控：「當你們在我們的領土上築起核工業時，我們並沒有得到任何的諮詢。在過去的 40 年，核能發電對我們的社區、土地與水資源等，產生了很多的影響。」

安大略省公用事業公司（等同於電力公司）原希望在距離休倫湖 1.2 公里的地點，在地下建立一座 680 公尺深的最終處置設施，作為加拿大中、低放射性廢棄物的最終處置地點，這項中低放處置設施計畫也於 2015 年中獲得試驗性批准。儘管金卡丁地區屬於「有意願」的地區，但由於這座處置設施計畫地點鄰近休倫湖，在加拿大與美國都引發了反對的聲浪（休倫湖面積覆蓋加拿大與美國兩國）。安大略省公用事業公司對此結果表示會尊重 Saugeen Ojibway Nation 的決定，也將開始找尋其他有可能的地區，與利害關係人合作開發出一個可替代的選址程序，新的選址流程都會讓當地的原住民與有興趣接納這座中低放最終處置設施的社區一同參與。

CTV News, 02/02/2020

澳洲新南威爾士州政府支持廢除核能使用禁令

擁有澳洲最大城市雪梨的新南威爾士州，其州政府在最近進行了一項調查，結果顯示州政府應廢除自 1987 年就開始禁止鈾礦開採與核子設施建立的法律。這項調查是由澳洲國家發展委員會於去（2019）年 6 月時發起，主要用來審查《2019 年（新南威爾士州）鈾礦開採與核子設施禁令之廢除法案》。這次進行的調查除了收到來自澳洲本地與國外的意見回覆之外，還舉辦了 3 場的聽證會。在發表這項調查的最終報告後，現在這份法案將上呈至澳洲國會兩院之一的上議院，進行審查。

澳洲國發會主席馬丁（Taylor Martin）表示，澳洲現有的鈾礦開採與核能禁令反應了 1980 年代「過時的擔憂」，澳洲自該項禁令開始實施以來，核能安全相關的技術已經有突飛猛進的發展。根據本次調查所蒐集到的資訊顯示，當國家能源政策在力求降低碳排放，同時又可提供穩定、可靠，且可以負擔的電力來源的情形下，核能發電在小型化方面的應用將是一項令人注目的技術。馬丁還補充，立法者與政府必須以「科學中立」的立場，採用合適、低碳排放的替代方式，來取代新南威爾士州逐漸老化的燃煤電廠。

澳洲礦業行業協會（Minerals Council of Australia）執行長康斯特布爾（Tania Constable）對此也表示，「我們必須將所有的能源選擇列入考慮，特別是確保那些可負擔得起的、可靠的，以及可永續發展的基載電力來源，包括核能。加上新開發的進步型小型模組化反應爐（Small modular reactors）在北美正在迅速地進行其設計核准程序，澳洲也應做好準備，因為這該種小型反應爐將有潛力在我們的能源結構中占有重要的地位。」對於該項法案調查，新南威爾士州政府必須於 9 月初前公布最終回應，若該項法案獲得通過，州政府將撤銷對該州鈾礦開採的禁令，但核子設施的禁令由於是聯邦一級的立法，即使該法案獲得通過，對核子設施的禁令仍然會存在。

World Nuclear News, 03/05/2020

美國兩座核電廠接連獲准二度延長運轉年限至 80 年

美國核能管制委員會（NRC）繼去（2019）年底第二次批准佛羅里達電力公司（Florida Power & Light）旗下土耳其角（Turkey Point）核電廠兩部機組的延役申請、創下美國首座獲准運轉 80 年核電廠的紀錄後，最近也再度通過賓夕法尼亞州、由 Exelon 公司負責營運的桃花谷（Peach Bottom）核電廠兩部機組二度延役的申請，成為美國第二座獲准營運 80 年的核電廠。

土耳其角核電廠 3、4 號機組分別於 1972、1973 年投入商業運轉，最初的運轉執照期限為 40 年，美國核管會於 2002 年同意該兩部機組可延長運轉 20 年，佛羅里達電力公司在 2018 年再度提出延役申請，核管會在經過詳細的核能安全審查後，於去年底宣布將再度延長該兩部機組的運轉年限至 2052、2053 年。

位於賓州的桃花谷核電廠 2、3 號機組在 1974 年、同時也是 1 號機關閉的那年開始商轉，在這次的延役後該兩部機組將可分別運轉至 2053 與 2054 年。Exelon 公司對此表示感到高興，「在過去的 7 年內我們進行了多項安全性的升級，桃花谷核電廠已準備好繼續以安全、可靠與高效率的方式運轉下去。」

根據美國《原子能法》的規定，核管會在首次核發商用核電機組運轉執照的年限不可超過 40 年，但這個數字事實上是基於經濟與反托拉斯的考量，並不是因為技術上的限制。但是，在申請延役的過程中也必須解決機組老化的技術問題，解釋未來將如何預防與管理，以及評估電廠持續經營對環境可能造成的影響等等。

Nuclear Engineering International, 03/10/2020

國內新聞

核研所國家隊 即刻救援釀酒精

正當全世界因新冠病毒傳染爆發大流行，各國民眾搶購酒精等消毒用品之際，核能研究所曾耗時 8 年於 2013 年研發成功「纖維酒精」，只要是有纖維的物品，如稻稈、蔗渣、竹子都可製成酒精。核研所表示，若政府有需求，隨時可輔導廠商生產投入國家隊，民眾可以不必擔心酒精荒。

纖維酒精計畫主持人郭家倫表示，台灣糖業、酒廠很發達，酒精存量還算充足，但假設疫情延燒時間拉長真的不敷使用，核研所已盤點內部資源，確認纖維酒精技術可協助廠商生產酒精，加強防疫。

坊間都是以穀物、蔗糖等糧食作物製成酒精，有與民爭糧的疑慮，而稻稈、木片、玉米桿、甘蔗渣本來就是農作廢棄物，又含有纖維，核研所因此投入研發技術，將纖維轉化為可發酵的糖，再將糖製成酒精。

郭家倫表示，這項技術已經成熟完整，還曾技術轉移至印度。核研所的小型工廠一天可處理 1 公噸稻稈，約可轉化為 200 公升的純酒精，雖無法大規模量產，只要政府有需求，核試所技術已經準備好，隨時可投入輔導廠商。國內絕對有自主生產纖維酒精的能力，可增強防疫措施。

郭家倫說，纖維酒精技術本來是為了發展替代汽油的車用燃料，燃燒酒精不會產生細懸浮微粒等空氣汙染物，因此有些國家以酒精取代部分汽油，降低空汙又節能減碳。根據研究，1 公升汽油加入 3% 酒精，二氧化碳排放量可減少 1.8-2.7%，且不會影響引擎的性能，若加入 10% 酒精減碳效果將更為顯著。

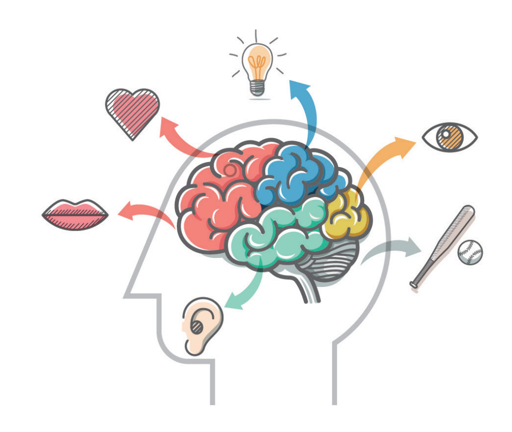
本刊訊，2020/03/23



核能研究所纖維酒精噸級測試廠 (圖片來源 : 原能會)



核能研究所研發的生質能源技術，成功地將廢棄木片轉化為纖維酒精。(圖片來源 : 原能會)



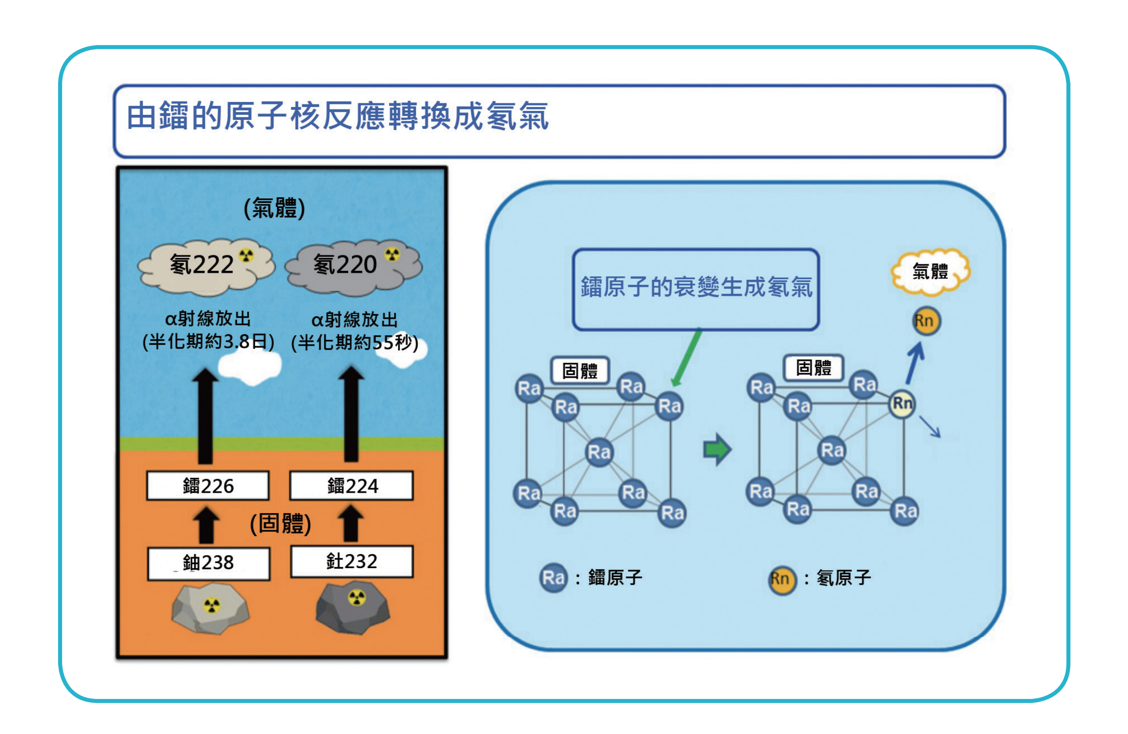
什麼是放射性與輻射？(19)

譯 朱鐵吉

Q 氡是如何產生的？

A 放射性物質鐳元素，在常溫常壓下如下圖所示，是立方型結晶構造。

鐳衰變時放出 α 射線而產生氡，氡、氦及氬同屬惰性氣體，不屬於活性元素，不會和其他化合物產生作用，而逸出於大氣中。氡的熔點是 -71℃，沸點約 -62℃，所以通常是以氣體型態存在。

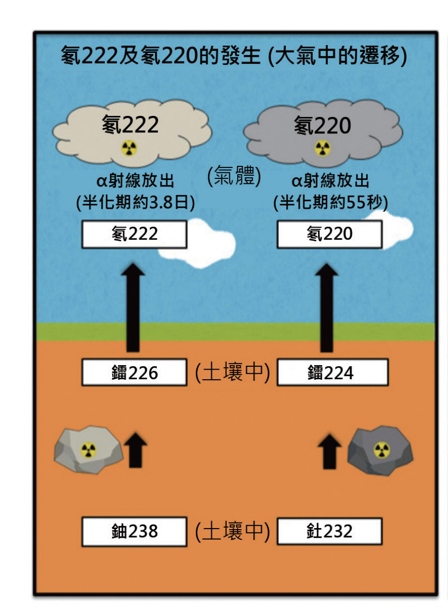


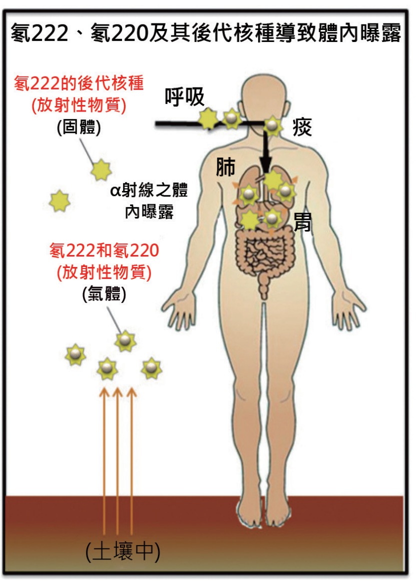
Q 吸入氡會造成多少體內曝露劑量？

A 鐳的礦石其放射性在衰變時釋出氡 222 和氡 220，人體因呼吸而攝入體內。鈾衰變生成鐳 226，再衰變產生氡 222（半化期約 3.8 日），釷 232 產生鐳 224，再衰變產生氡 220（半化期約 55 秒）。除了氡以外，我們還受到很多氡的子核種所造成的體內曝露。

氡 222 及氡 220 從地面或建材釋出於空氣中，吸入體內後，氡到達肺部，會放射出 α 射線，造成體內曝露的問題。吸入的氡又會衰變生成很多子核種，肺中的核種會跟著痰經由食道轉移到消化道，造成其他部位的體內曝露。

氡本身是氣體，隨著呼吸而排出體外；但是其子核種如釙 218 及鉛 214 等均為固體狀，一旦吸入後會吸附於肺泡及支氣管壁，不會排出體外，成為體內曝露的原因之一。



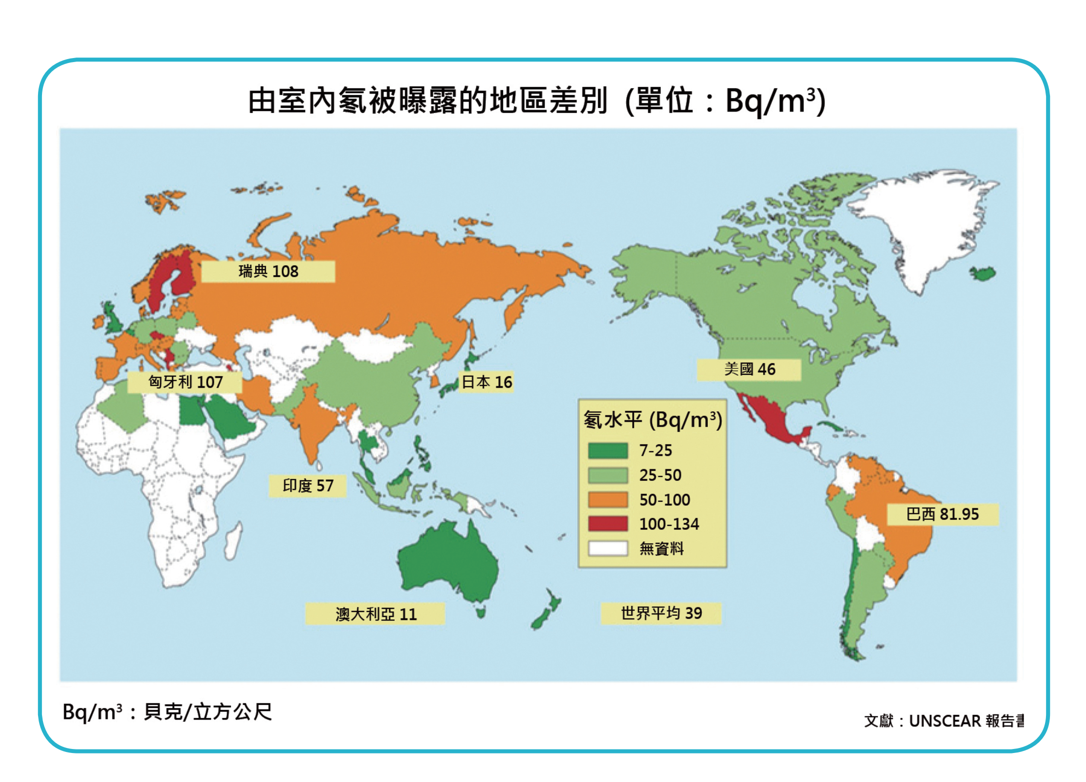


Q 室內的氡會對人體造成輻射曝露嗎？

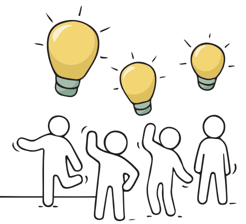
A 廣泛存在於地下的鐳，放出 α 射線後產生氡氣，歐洲的建材大多為岩石，導致室內的氡含量高，人們受到較高的輻射劑量。

以全世界的平均值來說，室內的氡每立方公尺約含 39 貝克，台灣地區約 23.0 貝克（註 1），日本僅有 16 貝克。所以室內的氡造成的體內曝露因地區不同而有很大差異。

註 1：台灣地區住宅氡氣活度量測與劑量評估研究，2016 年，原子能委員會







Q 因天然輻射曝露的劑量有多少？

A 鉛 210 及釙 210 是由大氣中的氡 222 衰變產生的，會沉積於地表或河川、海水中而進入魚貝類，人類攝取後造成體內曝露。

氡 222（半化期 3.8 日）→釙 218（半化期約 3 分鐘）→鉛 214（半化期約 27 分鐘）→鉍 214（半化期約 20 分鐘）→釙 214（半化期約 $1.6x10^{-4}$ 秒）→鉛 210（半化期約 22 年）→鉍 210（半化期約 5 日）→釙 210（半化期約 138 日）

日本民眾因食品而受曝露的劑量較高的原因，是攝取較多的魚貝類，因為魚貝類中含有較多的釙 210，導致體內有效劑量較高。另一方面，日本地區因為氡 222 及氡 220 所造成的輻射曝露較少的原因，是日本的建築物通風良好，氡氣較容易擴散至室外。

曝露種類	射源內容	有效劑量 (毫西弗/年)
體外曝露	宇宙射線	0.3
	地表射線	0.33
體內曝露 (吸入攝取)	氡222 (室內、室外)	0.37
	氡220 (釷射氣 Thoron) (室內、室外)	0.09
	吸菸 (鉛210、釙210等)	0.01
	其他 (鈾等)	0.006
體內曝露 (經口攝取)	主要是鉛210、釙210	0.80
	氚	0.0000082
	碳14	0.01
	鉀40	0.18
合 計		2.1

文獻：日本原子力安全研究協會「生活環境輻射」(2011年)

本單元資料來源：日本環境省《輻射的基礎知識與健康影響》第二章：輻射曝露，p.65, p.68-70, 2016

中期暫時貯存 荷你學

核廢料的存在是既存事實，當它為我們的生活提供便利與貢獻之後，為了讓它與我們的生活隔離，最終處置是最佳選擇，但在國內民眾對最終處置的選址尚未有共識之前，中期暫時貯存的設施是我們中繼的過渡方案。

國際上荷蘭、瑞典、比利時等國家，也面臨與我國相同的問題，他們採行中期暫時貯存方式，值得我國參考學習。以荷蘭為例，他們於工業區設置一座高、低放的中期暫時貯存設施，為最終處置場的選址爭取時間並凝聚共識。



廣告